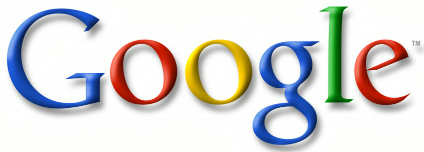


LES EAUX MINÉRALES

CONSIDÉRÉES

DANS LEURS RAPPORTS AVEC LA CHIMIE

ET LA GÉOLOGIE

PAR

HENRI LECOQ

PROFESSEUR A LA FACULTÉ DES SCIENCES DE CLERMONT, CORRESPONDANT DE L'INSTITUT DE FRANCE, DE L'INSTITUT ÉGYPTIEN, OFFICIER DE LA LÉGION D'HONNEUR ETC.



PARIS

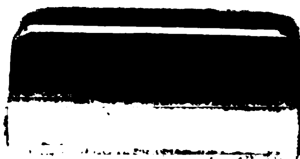
J. ROTHSCHILD, ÉDITEUR

LIBRAIRE DE LA SOCIÉTÉ BOTANIQUE FRANCE ET DES SOCIÉTÉS ZOOLOGIQUE ET GÉOLOGIQUE DE LONDRES

14, RUE DE BUCI, 14.

1864.


Ex-libris
Charles Atwood
Kofoid







3

NÉRALES

ES

AVEC LA CHIMIE

LOGIE.







LES EAUX MINÉRALES

CONSIDERÉES

DANS LEURS RAPPORTS AVEC LA CHIMIE

ET LA GÉOLOGIE

PAR

HENRI LECOQ

PROFESSEUR A LA FACULTÉ DES SCIENCES DE CLERMONT, CORRESPONDANT DE L'INSTITUT DE FRANCE, DE L'INSTITUT EGYPTIEN, OFFICIER DE LA LEGION D'HONNEUR ETC.



PARIS

J. ROTHSCHILD, ÉDITEUR

LIBRAIRE DE LA SOCIÉTÉ BOTANIQUE FRANCE ET DES SOCIÉTÉS ZOOLOGIQUE ET GÉOLOGIQUE DE LONDRES

14, RUE DE BUCI, 14.

1864.



INTRODUCTION.

Il paraîtra sans doute singulier que dans un livre entièrement consacré aux eaux minérales, il ne soit pas question de leurs propriétés, ni de leur emploi dans l'art de guérir.

Que pourrions-nous ajouter dans ce sens aux ouvrages généraux qui ont été publiés et à la plupart des monographies que des hommes de mérite, placés à la tête d'établissements importants, ont consacrés aux sources salutaires dont ils dirigent l'emploi?

L'étude des principes chimiques contenus dans les eaux, l'action énergique que ces eaux ont exercée sur la constitution du globe terrestre aux diverses époques géologiques, telles sont les matières traitées dans cet ouvrage.

Ce n'est pas une raison pour que les médecins des eaux, pour que les personnes qui fréquentent les sources, les gens du monde, ne puissent y puiser quelques connaissances. Nous pensons même qu'après avoir approfondi les mystères cachés dans les profonds labo-

ratoires de la nature, la conviction des uns et la confiance des autres s'en trouveront augmentées.

Frappé depuis longtemps des curieux phénomènes que les eaux minérales viennent encore nous offrir, remontant de l'étude approfondie de ces phénomènes actuels à ceux des périodes géologiques anciennes, nous avons essayé de faire connaître toute l'importance des sources thermales dans la formation des terrains, dans la richesse des dépôts métallifères et l'influence que peut exercer sur la vie la matière organique qui se forme dans le sein de la terre.

Les médecins appelés à diriger des établissements plus ou moins importants puiseront dans ce livre quelques connaissances qui viendront compléter celles qu'ils ont acquises, quand ils prescrivent ces eaux comme un des agents les plus sûrs et les plus puissants de la thérapeutique.

Les chimistes reconnaîtront que la plupart des éléments, alphabet de leurs combinaisons innombrables, leur sont amenés du sein de la terre et souvent même en quantité considérable.

Les géologues verront que les eaux thermales ont été l'agent le plus puissant dans la formation des calcaires et de tous les dépôts chimiques. Ils reconnaîtront leur influence sur le développement de la vie, leur action incessante dans les phénomènes de métamorphisme, et combien l'étude de ces sources actuelles

peut jeter de lumière sur les premières époques de notre globe.

On trouvera peut-être exagérée l'importance que nous donnons aux eaux minérales au point de vue géologique ; mais nous sommes profondément convaincu du rôle considérable qu'elles ont rempli aux âges divers de la terre.

Ces hautes questions, que nous n'avons pas la prétention d'avoir résolues, intéressent la science et surtout la philosophie de la nature à un haut degré.

Nous avons observé nous-même un grand nombre de sources, nous avons recueilli partout les documents que nous avons trouvés sur l'origine, le débit, la température et la composition de ces sources. Souvent même, pour n'être pas soupçonné de partialité dans la cause que nous défendons, nous avons rapporté le texte exact des faits observés par d'autres que par nous-même.

La doctrine géologique des eaux minérales que nous avons cherché à développer, tend à rapprocher, ou plutôt à concilier ces idées absolues des anciens géologues dont les uns voyaient partout dans la nature l'action des eaux, tandis que les autres attribuaient à la puissance du feu toutes les modifications que la terre a successivement subies en traversant les âges.

Nous avons réservé pour un autre travail dont la publication suivra de près celle de ce volume, l'appli-

cation des principes que nous avons énoncés. Nous avons choisi à cet effet la partie de la France qui offre le plus d'intérêt sous ce rapport, c'est le massif central, si remarquable par ses eaux carbonatées et par le nombre de ces sources dont nous citons plus de cinq cents.

Clermont-Ferrand, le 15 mai 1864.

H. LECOQ.

LES EAUX MINÉRALES

CONSIDÉRÉES DANS LEURS RAPPORTS

AVEC

LA CHIMIE ET LA GÉOLOGIE

CHAPITRE I[er].

Les Eaux minérales. — Leur définition. — Leur situation.

—

On désigne sous le nom d'*eaux minérales*, les sources qui s'échappent du sein de la terre en rapportant des matériaux qu'elles vont puiser à de grandes profondeurs.

On peut distinguer les véritables eaux minérales des sources ordinaires, en ce que ces dernières, dans leurs conduits souterrains, *coulent de haut en bas*, tandis que les eaux minérales *remontent de bas en haut*.

S'il est difficile de séparer dans la pratique les eaux minérales des eaux de sources ordinaires, cette distinction est très-nette en théorie.

Pour nous, les eaux minérales sont celles *qui ont réagi* ou *qui réagissent encore sur la zone d'action chimique du globe*.

D'après cette définition, toutes les eaux, dans le principe, ont été minérales. Quand la zone d'action chimique était à la surface du globe à peine refroidi, toute l'eau qui pouvait se condenser sur la terre devait acquérir, par suite de sa

réaction, de la pression et de la température, des propriétés qu'il nous serait impossible de reproduire. Cette eau était minérale, puisque les actions chimiques se passaient alors à l'extérieur.

Plus tard, quand par suite de cette réaction active, la première pellicule de la terre s'est formée, le rôle des eaux minérales devint un peu moins prépondérant; l'eau, pour être minéralisée, devait alors descendre un peu plus bas; mais des fentes nombreuses, des dislocations sans nombre et peut-être le mouvement de flux et de reflux que la masse incandescente pouvait éprouver, durent lui offrir les meilleures conditions pour pénétrer à de petites profondeurs.

Depuis lors cette réaction des eaux, descendant de la surface pour atteindre la zone d'action chimique de la terre, a dû, successivement, diminuer d'intensité à mesure que l'écorce terrestre se solidifiait et augmentait en épaisseur.

Nous sommes ainsi arrivés à une époque où l'eau minérale est une exception relativement à l'eau courante, tandis que dans les plus anciennes périodes géologiques, c'était l'eau courante qui faisait l'exception.

Nous ne devons donc pas nous étonner de l'ancienne puissance des eaux minérales et de la part active qu'elles ont prise dans la formation des terrains, depuis les premières roches schisteuses, les gneiss et les micaschistes, jusqu'aux travertins modernes.

Nous sommes forcés de reconnaître que les roches éruptives qui ont traversé et brisé les couches sédimentaires ont dû se trouver aussi en contact avec l'eau, et en effet presque toutes en contiennent depuis le granite jusqu'au basalte, tandis que les laves modernes, venant sans doute de profondeurs plus grandes, sont les seules qui n'en renferment pas.

L'eau vaporisée montre encore toute son influence dans les phénomènes volcaniques, dans les lagonis, etc. Les volcans et les sources thermales représentent les derniers, mais puissants efforts de l'eau qui atteint encore, à une grande profondeur, la zone de réaction chimique de la terre, zone qui était autrefois à la surface.

Il ne faut donc pas se borner dans l'étude des sources minérales à quelques produits qu'elles déposent encore, mais il faut remonter de l'époque actuelle à celle qui la précède, de celle-ci aux époques antérieures, et reconnaître enfin que l'étude de la géologie toute entière repose sur l'action directe ou indirecte de l'eau à toutes les époques, et que cette action a été en diminuant toujours depuis les temps anciens jusqu'à nos jours.

C'est plus tard seulement, après que des couches puissantes de terrains étaient déjà formées, que les eaux non minérales, éloignées de la surface d'action chimique du globe, ont pu se montrer.

Les eaux courantes n'ont pu commencer leur action qu'après l'émersion des terrains et lorsque la zone d'action chimique de la terre a été recouverte d'une pellicule oxydée.

Il en résulte qu'à l'époque où le refroidissement du globe permit à l'eau vaporisée dans l'atmosphère de descendre sous forme liquide jusqu'à sa surface, toute pluie se transformait en eau minérale. Aujourd'hui la pluie donne naissance aux eaux courantes, aux sources non minérales qui, au lieu de remonter de l'intérieur, s'échappent par des orifices inférieurs à leur point de départ. Ces eaux de source peuvent bien dissoudre certains principes dans les terrains qu'elles traversent, mais ce ne sont pas des eaux minérales.

Les quantités de pluie et d'eaux courantes qui pénètrent dans l'intérieur de la terre par des fissures, qui peuvent atteindre la zone de réaction et y puiser divers principes, sont les seules eaux que nous puissions considérer comme minérales.

Parmi ces eaux, les unes sont *froides*, les autres sont *thermales*. Ces dernières accusent toujours une température supérieure à celle des terrains qu'elles traversent; en sorte que leur chaleur provient, comme nous le verrons par la suite, de profondeurs plus grandes que celle de la ligne de température invariable.

Une eau minérale est donc une eau qui a réagi à des profondeurs variables sur l'écorce du globe, qui a pu modifier cette écorce par ses réactions, et qui souvent contient quelques-uns des principes auxquels cette réaction a donné naissance.

Les eaux ordinaires et non minérales, désignées sous le nom d'*eaux douces*, sont celles qui sont pures ou qui ne renferment que les substances puisées dans le terrain qu'elles ont traversé.

Les eaux marines sont formées de toutes les eaux douces et minérales réunies dans de grands bassins où elles s'évaporent et se concentrent.

D'après les idées que nous venons d'exprimer sur les eaux minérales, on conçoit leur grande importance dans tous les phénomènes géologiques. Envisagées d'après cette manière de voir, il est clair que nous n'avons plus que les restes affaiblis de sources puissantes qui sont intervenues dans la plupart des dépôts et des émissions plutoniques dont l'ensemble constitue l'écorce accessible de notre globe.

De nos jours encore, les eaux minérales existent dans

toutes les contrées, quelquefois dans les plaines, plus souvent dans les vallées. Elles sont plus fréquentes dans les régions montagneuses que partout ailleurs, et se trouvent presque toutes situées sur le bord de l'eau à peu de distance des ruisseaux ou des rivières.

On les voit du reste, s'échapper de toutes espèces de terrains cristallisés ou sédimentaires anciens ou modernes. Tantôt elles coulent d'une manière continue, comme la plupart des sources ordinaires; tantôt elles ont des intermittences très-marquées et régulières. Les unes sont réduites à de simples filets qui s'échappent avec peine d'étroites fissures; d'autres arrivent au jour sous un volume énorme et jaillissent avec force au-dessus du sol. Leur composition varie comme leur température; rarement pures, elles contiennent généralement des sels, des acides, des bitumes, des matières organiques, et souvent en quantité assez notable pour leur donner des propriétés particulières et une action marquée sur l'économie animale.

Dès que nous admettons que les eaux minérales sont des eaux qui descendent à une assez grande profondeur, et remontent en apportant la température et les principes des régions souterraines qu'elles ont sondées, nous devons trouver des rapports directs entre l'émission de ces sources et les phénomènes de dislocation des terrains. En effet, nous rencontrons partout ces relations. Nous allons les voir sur le plateau central. Elles existent dans toute l'Europe.

Les geysers d'Islande et toutes les eaux minérales de cette contrée occupent le fond de grandes vallées, comme l'a très-bien remarqué M. Robert.

En Turquie, les eaux chaudes, presque toutes sulfureuses, sont alignées N. S. ou bien se montrent au pied des mon-

tagnes centrales, en relation avec les trachytes et les basaltes (Boué, *Turquie d'Europe*, t. I, p. 380).

Les relations géologiques des eaux sont évidentes partout ; ainsi dans le groupe Pyrénéen, comme l'a fait remarquer M. Filhol, les eaux qui naissent dans la partie supérieure de la chaîne et, qui le plus souvent sortent des roches primitives, sont jaillissantes et toutes, ou sulfureuses thermales ou ferrugineuses. Celles au contraire qui naissant dans la partie la moins élevée des montagnes, sortent ordinairement, soit des ophites, soit du calcaire, soit des terrains gypseux qui avoisinent les ophites, sont ou des eaux salines séléniteuses ou des eaux salées, ou des eaux sulfureuses froides à base de sulfure de calcium, ou des eaux calcaires et légèrement alcalines.

Les sources minérales de l'Espagne sont indiquées au nombre d'environ 400, dans un Mémoire de don Pedro Rubio, inséré dans le 1er volume des Mémoires de l'Académie de Madrid.

Quelques-unes de ces sources n'ont que 10°, mais plusieurs d'entre elles dépassent 60°. Ce sont les parties les plus tourmentées, les plus brisées du sol espagnol qui offrent le plus grand nombre de sources.

« Sur un millier de sources minérales qu'on a signalées en France, disent les auteurs de l'*Annuaire des eaux*, huit cents, au moins, appartiennent aux régions montagneuses, et sortent de roches d'origine ignée ou de terrains sédimentaires qui portent, plus ou moins profondément, l'empreinte de leur action. »

« Si l'on va plus loin, et qu'on examine avec quelque soin la nature prédominante des eaux de telle ou telle contrée montagneuse, on ne tarde pas à s'apercevoir que là

encore il y a des préférences, et il ne sera pas difficile de voir, par exemple, que les eaux acidules sont aussi abondantes dans le massif central de la France, que les sources dites sulfureuses le sont dans la chaîne des Pyrénées. »

M. Gresly cite aussi les rapports qui existent dans le Jura entre les points d'émergence des sources et les dislocations de la chaîne.

« C'est un fait digne de remarque, que la plupart des sources minérales et thermales se trouvent dans les cratères de soulèvement ou sur l'axe des vallées longitudinales. Les sources de Baden, en Argovie, et de Schinznach sont situées dans des cratères de soulèvement des chaînes principales du Lœgerberg; celles d'Eptingen et autres sont situées dans les cratères de Wallenbourg, de Meltingen, etc. (A. Gresly, *sur le Jura soleurois, nouveaux Mémoires de la Société helvétique de sciences naturelles*, t. 5, p. 340.)

On ne peut donc douter des relations des eaux minérales avec les dislocations du sol.

« C'est dans le granite porphyroïde que les sources de Plombières se produisent au jour, mais dans un point tout voisin de sa séparation avec une couche d'origine différente. La source du Reherrey ou de Chaudes-Fontaines se trouve dans une position géologique semblable, c'est-à-dire près de la ligne séparative des mêmes roches. » (Jutier et Lefort, *Études sur Plombières*, p. 11.)

M. Leymerie a constaté que les eaux sulfureuses d'Amélie-les-Bains, dans les Pyrénées, émergent d'un gneiss associé à du schiste semi-cristallin, et près de son contact avec un porphyre quartzifère éruptif.

La sortie des sources minérales au contact de deux roches dont l'une au moins est éruptive, est un fait presque géné-

ral. L. de Buch signalait, en 1846, à Carlsbad, deux sortes de granite d'âge différent. Un granite à grains fins, plus moderne, traversait le granite à gros grains. Ce dernier apparaît seulement du côté droit de la vallée de la Tœpel, tandis que le granite fin se montre à gauche.

« La limite des deux modifications, dit L. de Buch, forme presque une ligne droite. C'est dans cette ligne de démarcation que prennent naissance les sources minérales. On pourra juger de l'intensité des forces qui ont brisé la croûte de granite grossier pour livrer passage au granite fin, en considérant les masses soulevées, comme le Dreikreutzberg, etc. Les forces qui agissaient alors ne sont pas encore éteintes, car c'est à elles que nous devons ces sources chaudes qui jaillissent encore aujourd'hui et qui se trouvent précisément à la surface de contact des deux espèces de granite. La température des sources est d'autant plus élevée qu'elles se trouvent à une plus grande profondeur dans l'intersection de la vallée. » (Leonhard *und* Broun's *neues Jahrb.* 1846.)

Les sources de Wiesbaden sortent d'une cassure qui existe, selon M. G. Sandberger, dans un grès tertiaire barytifère. Ce gisement indique pour ces eaux une date d'émission postérieure à l'époque tertiaire et la propriété qu'elles possédaient de produire de la baryte.

La ville d'Evaux (Creuse) est sur un plateau de gneiss talqueux, d'où un chemin rapide conduit au commencement d'une petite vallée. L'enceinte assez vaste dans laquelle les sources s'échappent des rochers, a été creusée de mains d'homme, et forme maintenant une petite place carrée où existent encore les puits et les piscines des Romains auxquels sont dus les immenses travaux qui ont mis ces sources à découvert.

La roche est un gneiss talqueux comme celui qui constitue la majeure partie du pays. En examinant avec soin la coupure, on remarque surtout au-dessus du puits de César une roche plus dure à grains un peu plus volumineux, que l'on peut considérer comme un porphyre évidemment postérieur au gneiss. Nous ne doutons pas que ce porphyre, en sortant à travers la roche préexistante, n'ait été la cause des nombreuses fractures à travers lesquelles sourdent les eaux. En effet, on voit partout des suintements, et quoique la plupart aient été soigneusement captés par les Romains, il est certain que des fouilles nouvelles amèneraient encore des eaux chaudes dans cette enceinte.

En Amérique, où tous les phénomènes paraissent se produire sur une si vaste échelle et présentent de si grands rapports avec ceux du plateau central, il existe aussi une ligne étendue le long de laquelle les sources minérales ont été appelées par des roches éruptives.

« Lorsqu'on se dirige du promontoire de Paria (Amérique du Sud) vers l'ouest par Irapa, Aguas calientes, le golfe de Cariaco, le Bergantin et les vallées d'Aragua, jusqu'aux montagnes neigeuses de Mérida, on trouve sur plus de 150 lieues de longueur une bande continue d'eaux thermales. » (Humboldt, *Voy. aux Rég. équin.*, t. 3, page 250.)

Cette coïncidence des sources minérales avec les lignes de dislocation des terrains se retrouve partout. M. Sterry-Hunt la cite pour 48 sources qu'il a observées dans le Canada. Les moindres dislocations, les plus petites fouilles permettent l'émission de ces eaux.

Les ophites des Pyrénées que plusieurs géologues considèrent comme des porphyres de l'époque tertiaire, ont aussi

déterminé la sortie de sources minérales dont les dépôts sont représentés par des gypses, du sel gemme, du fer oxydulé, du fer oligiste, du quarz et même de l'épidote.

Les ophites qui, en Espagne, dans le royaume de Murcie, ont percé les terrains tertiaires, ont produit des gypses, des sources salées et des eaux thermales.

M. C. S.-C. Deville fait remarquer que certains terrains stratifiés très-étendus, les uns formés de roches sédimentaires anciennes, d'autres résultant de la superposition d'assises plus modernes, ne donnent pour ainsi dire naissance à aucune source minérale; tandis que d'autres terrains également sédimentaires en laissent sortir de leurs interstices. Tout en admettant ces faits, nous ne pensons pas, comme le savant géologue que nous venons de citer, que l'absence soit due à ce que les eaux ne s'enfoncent pas assez profondément dans le sol. Pour nous, toute eau réellement et géologiquement minérale, provient au moins de la partie inférieure des terrains primitifs; de là la perte de beaucoup de sources dans les terrains stratifiés, quand ceux-ci emplissent des bassins, quand leurs couches sont puissantes et absorbantes, et quand la source, par des dépôts et des incrustations insolubles, n'a pas tubé elle-même la fente qui l'amène au jour.

D'un autre côté, ces bassins remplis de sédiments n'indiquent aucun soulèvement, aucune fracture du terrain primitif qui ait pu frayer le passage aux eaux souterraines.

Quand, au contraire, les terrains stratifiés ont été brisés, disloqués, relevés par des mouvements de la croûte primitive, les sources profitent des fentes et arrivent, comme dans le Jura et la Haute-Saône, amenant des chlorures, parce que ces eaux, qui ont traversé le granite, sortent de l'inté-

rieur du globe toutes salées, et loin d'avoir puisé leurs chlorures dans le sel gemme des marnes irisées, comme le dit M. Deville, elles sont les restes affaiblis des sources salifères qui ont donné naissance aux masses souterraines de chlorure de sodium.

S'il en était autrement, comment pourrait-on expliquer ces liaisons si intimes des eaux minérales de la France centrale, avec toutes les roches éruptives de toutes les époques. Ces eaux sont en relation avec les granites éruptifs, avec les porphyres à leur point de jonction avec le granite, avec les trachytes, avec les dykes basaltiques, avec les lignes de cassures des grands bassins, avec les fractures qui ont déterminé le cours des rivières, absolument comme dans les Pyrénées, les sources de cette nature suivent l'axe de soulèvement de la chaîne, ou s'associent aux masses d'ophite qui sont venues percer sur les flancs.

Il paraîtrait même que, dans certaines circonstances, des basaltes ont pu retenir encore une partie de l'eau minérale dont ils ont déterminé l'émission. M. Béral en a cité un exemple dans des échantillons de basalte recueillis aux environs de Lodève. Ce basalte contient dans son intérieur des vacuoles remplies d'eau. Il forme un filon vertical de $0^{m}80$, entouré d'argiles. « La cassure de cette roche met à découvert des vacuoles de dimensions variables qui s'entourent immédiatement d'une auréole humide due à la sortie de l'eau qu'elles renferment. Le liquide paraît sans action sur le papier de tournesol. Les parois des cavités sont tapissées d'un enduit blanc inattaquable par les acides. Plusieurs vacuoles présentent en outre des cristaux de carbonate de chaux dans lesquels l'analyse spectrale décèle la présence de traces de lithine. » (*Rev. des Soc. sav.*, 16 octobre 1863.)

M. C. S.-C. Deville dit encore que dans le massif central de la France, ce n'est pas sur la lisière occidentale, où se trouvent les granites, que sortent les eaux minérales, mais sur la lisière orientale, où se montrent les trachytes, les basaltes et les volcans modernes. Ceci est une erreur d'observation. Un grand nombre de sources sortent directement du granite, ce sont les plus nombreuses comme on peut le voir en jetant un coup d'œil sur notre grande carte du Puy-de-Dôme. La majeure partie de celles qui ont évidemment accompagné l'émission des terrains volcaniques sont aujourd'hui taries.

Au reste, nous sommes tout à fait d'accord avec le savant géologue que nous venons de citer, « que les eaux minérales ne paraissent être que les représentants, plus ou moins affaiblis, des émanations qui ont laissé des traces de leur existence dans toutes les périodes géologiques, et dont les fumerolles de nos volcans nous présentent encore une image aujourd'hui. »

Les eaux minérales suivent donc, le plus ordinairement, les lignes de fracture d'une contrée, et comme ces lignes de fracture sont le plus souvent déterminées par la sortie de roches éruptives, il en résulte que les eaux doivent avoir du rapport avec les roches qui leur ont frayé une issue.

Si, par exemple, nous considérons les sources du plateau central de la France, une des régions les plus compliquées en géologie, nous y trouverons des sources en relation évidente avec les éruptions granitiques; d'autres dépendent des émissions porphyriques. Les diverses époques des explosions volcaniques ont aussi donné naissance à des sources minérales.

L'âge des roches plutoniques et volcaniques différant con-

sidérablement pour chacune d'elles, depuis les granites jusqu'aux basaltes, nous devons supposer que les couches plus ou moins profondes d'où elles procèdent sont loin d'être de la même nature. C'est pour cette raison que les eaux qui vont puiser leurs principes dans ces couches si différentes doivent aussi offrir elles-mêmes des différences.

Ces eaux peuvent contenir les mêmes éléments que les roches éruptives qu'elles accompagnent ou dont elles ont suivi l'émission, mais elles doivent aussi avoir réagi sur la couche profonde d'où émanait la roche plutonique et y avoir provoqué des combinaisons nouvelles. C'est en ce sens que les sources thermales peuvent avoir des rapports avec les terrains qu'elles traversent. Elles ont puisé leurs principes aux mêmes lieux, à la même profondeur dans les couches dont l'écorce de notre planète est formée, et elles n'ont pas dissous ces principes dans les terrains préexistants qu'elles traversent.

Il serait donc à désirer que l'on étudiât soigneusement les caractères des sources amenées par les granites, par les porphyres, etc.

Si l'on parvenait à reconnaître sûrement la relation géologique des sources, on trouverait probablement des différences de composition entre les sources d'une époque et les sources d'une autre époque.

La surface d'action chimique où les réactions s'opèrent dans l'intérieur de notre globe, devenant de plus en plus profonde, la composition chimique de ces eaux doit varier comme la profondeur.

Il est vrai que nous ne connaissons pas la nature des couches superposées dont la terre est formée ; nous ignorons l'ordre de succession de ces couches lors de la conden-

sation de notre globe. Nous ne savons pas si des zones de même nature ne sont pas entrées à des époques différentes dans la composition de cette écorce. Le temps seul et des études bien dirigées pourront résoudre ces importants problèmes.

La plupart des sources qui ont produit les calcaires de la Limagne et des bassins tertiaires de l'Auvergne semblent avoir été amenées par les porphyres avant l'apparition des produits volcaniques. Dans les Pyrénées, certaines classes de sources sont liées aux granites, aux amphibolites ; d'autres aux eurites, aux ophites, etc.

Nous ne voyons pas toujours les roches dont la sortie a amené les eaux minérales, car souvent les roches primitives sont recouvertes par des terrains secondaires, et, quand le soulèvement d'une chaîne de montagne s'est opéré, des fractures ont eu lieu nécessairement jusque sous les terrains sédimentaires qui en cachent les flancs, et c'est par ces fentes que les eaux s'échappent.

Or, comme les fentes, cassures ou fractures des terrains sont presque toujours multiples, il en résulte que les points d'émergence des eaux sont généralement groupés, et qu'une source principale a souvent tout un cortége de sources secondaires émanant du même foyer.

Nous sommes donc parfaitement d'accord avec M. François quand il dit qu'il existe des relations de position et d'origine entre les sources thermales et les roches éruptives de tous les âges.

« Si l'on étudie, dit-il, une chaîne de montagnes avec roches cristallines, plutoniques ou volcaniques visibles, on ne tarde pas à remarquer que les eaux de même nature sont groupées de la même manière que certaines roches érupti-

ves. On observe également que, pour des eaux d'une nature déterminée, le voisinage de certaine roche y introduit des matières propres à d'autres eaux thermales dont cette roche est congénère. »

Après avoir cité des exemples que nous connaissons et sur lesquels nous reviendrons au sujet des eaux du massif central et des Pyrénées, M. François a reconnu comme nous « que la permanence de cet ordre de faits, permet de penser que non-seulement les dikes, les fusées souterraines des roches éruptives, ainsi que les limites des massifs cristallins, auraient fourni des canaux émissaires à l'ascension des eaux thermales, mais qu'il y aurait en outre des relations de position, des rapports d'origine, entre ces eaux et leurs roches congénères. »

Quant aux relations de position, M. François les a rendues visibles dans le beau plan en relief relatif aux eaux de Bagnères de Luchon, qui est déposé à l'école des mines. La montagne d'où s'échappent les eaux s'ouvre, et l'œil peut suivre comme M. François les a suivies à la pioche, les galeries où se trouvent les sources. Or, chaque émission granitique injectée dans la montagne a ouvert le chemin à des sources qui coulent encore et qui sont parfaitement indiquées.

Tout ce que nous venons de dire de la situation des eaux minérales en général s'applique également à l'Auvergne.

Les sources y sont placées sur trois lignes principales dont la direction générale est N. S. ou à peu près.

Une de ces lignes suit la falaise occidentale de la Limagne, une autre la falaise orientale. Ces falaises formées de granites et de porphyres indiquent très-probablement deux lignes de cassure ou de soulèvement. Nous devons dire tou-

tefois, que les sources sont plus nombreuses à la base de la falaise occidentale.

La troisième ligne suit les sinuosités du cours de l'Allier. Elle offre la même direction générale et bon nombre d'émissions.

Indépendamment de ces trois lignes, on voit encore sortir des sources dans la vallée de la Dore et dans celle de la Sioule, au pied du groupe du Mont-Dore et dans ses vallées, à la base du Cantal, sur le versant oriental de la chaîne du Forez. Enfin, bon nombre de sources se trouvent dispersées sans aucun ordre apparent et doivent indiquer, sans doute, des cassures peu distinctes, ou se trouvent en relation avec des éruptions locales apparentes ou inaperçues de porphyres ou d'autres roches plutoniques.

Quelle que soit leur direction ou leurs relations avec les dislocations réelles ou présumées des terrains, les sources minérales de l'Auvergne, à peu d'exceptions près, se trouvent dans des vallées, très-rapprochées des cours d'eau qui les sillonnent et quelquefois même entièrement submergées.

Cette situation s'explique parfaitement. D'abord les vallées indiquent presque toujours une fracture du sol préexistant. D'un autre côté, la coupure faite ou élargie par l'érosion met à nu les tranches nombreuses des couches sédimentaires ou les fissures des roches primitives, conditions qui permettent aux eaux de s'échapper.

Les cours d'eau des vallées peuvent encore concourir par un autre moyen à prolonger la durée des sources qui amènent leurs eaux dans leurs sillons. Les lavages continuels des eaux courantes entraînent immédiatement les produits des sources. Il arrive souvent sur le plateau central que les eaux minérales amènent au jour de grandes quantités d'hydroxyde

de fer, de silice, et souvent de carbonate de chaux, et que leur orifice se trouve obstrué par l'accumulation de ces matières. Nous avons des exemples nombreux de sources arrêtées par leurs dépôts, complétement taries, ou qui ont été chercher ailleurs une sortie libre ou du moins plus facile.

Les cours d'eau préviennent ces obstructions en entraînant les principes solidifiables aussitôt qu'ils paraissent, et ceci nous explique pourquoi nombre de sources minérales coulent dans les vallées depuis un temps immémorial.

D'après un relevé fait par les soins de l'Académie de médecine, le nombre des sources minérales connues en France, exploitées ou non, serait de 864. Sur ce nombre, d'après ce même travail, le groupe des montagnes centrales en offrirait 200. Nous en citerons plus de 500 dans cette dernière contrée, et dans ce nombre sont omis plus de 100 filets ou suintements sans importance, mais qui sont peut-être les indices de sources remarquables qui se perdent dans le sol et que des fouilles mettraient à découvert.

CHAPITRE II.

Du volume des Eaux minérales.

Quelle que soit l'origine des sources minérales, un fait bien remarquable est l'extrême abondance de quelques-unes d'entre elles. Ainsi il est impossible de connaître la quantité d'eau que rejettent les geysers d'Islande pendant leurs paroxismes d'éruption. On a eu beaucoup de peine à mesurer le volume des eaux de Carlsbad, que l'on évalue à 111,292 seaux par 24 heures, sans préciser la contenance de ces seaux. Plusieurs des sources thermales que Humboldt et M. Boussingault ont observées en Amérique, forment de véritables rivières dès leur sortie du sol.

La source de Saint-Laurent, à Loèche, donne 980 litres par minute, et si l'on tient compte de la perte dans le terrain, un million et demi de litres par 24 heures.

L'ensemble du débit de toutes les sources de Bagnères de Luchon s'élève, selon M. Filhol, à 416 mille litres en 24 heures.

Une seule source, le Gros-Escaldadou, à Amélie-les-Bains, dans les Pyrénées, fournit plus d'un million de litres en 24 heures. Elle marque 61° 13. Il existe, en outre, dans cette localité un grand nombre d'autres sources.

Les sources de Cauterets (Hautes-Pyrénées), dont l'ensemble fournissait 216 mètres cubes par 24 heures, en débitent maintenant 392, depuis les travaux de captage entrepris sous la direction de M. François. On peut juger par

là de la quantité d'eaux minérales qui se perdent partout dans les fissures des rochers et des actions géologiques qu'elles peuvent y produire.

Les sources d'Olette, dans les Pyrénées-Orientales, donnent au moins 1,772 mètres cubes en 24 heures.

On peut citer encore dans ces énormes émissions d'eaux pyrénéennes la ville d'Ax, dans l'Ariége. « Le sol de la ville repose sur une nappe d'eau minérale; les vapeurs, s'échappant par toutes les fissures, imprègnent l'air d'une odeur sulfureuse. L'abondance, la variété, la température des eaux (qui atteignent jusqu'à 75°), y sont vraiment remarquables; on ne compte pas moins d'une quarantaine de sources sulfureuses à divers degrés et formant une véritable série thermale. L'eau chaude est à la discrétion des habitants; elle sert à tous les usages domestiques; on en pétrit le pain, on en fait la lessive. » (*Annuaire des eaux de la France*, t. 1, p. 507.)

Des sources très-nombreuses (on en compte 60) sont rassemblées sur une étendue de 400 mètres de longueur, le long de la rive gauche d'une petite rivière nommée *Hot-Spring-Creek* (le ruisseau des sources chaudes), dans l'État d'Arkansas, en Amérique. Elles fournissent ensemble, et par minute, plus de 1,000 litres d'eau, dont la température varie de 52° à 60°. Aussi le ruisseau voisin, dont la température naturelle est de 8°, acquiert 18° après sa jonction avec le produit des sources. Là, comme dans plusieurs autres localités, des sources froides sortent très-près des sources chaudes. Un insecte aquatique vit dans l'eau la plus chaude.

Plusieurs sources du plateau central de la France nous offrent aussi un volume considérable, comme nous le ver-

rons par la suite. Nous pouvons citer comme exemples les sources de Chaudesaigues, qui produisent 993 mètres cubes par 24 heures, et celles de Royat, qui en donnent 1,296 pour le même laps de temps. Bourbon-l'Archambault atteint le chiffre énorme de 2,400 mètres cubes par jour.

Nous avons cité un peu plus haut le chiffre de 500 pour le nombre des sources minérales du plateau central de la France. Sur ce nombre, 231 sources au plus ont été jaugées. Elles donnent ensemble, et par 24 heures, 12,064 mètres cubes.

Cette estimation est plutôt trop faible que trop forte, car la plupart des jaugeages ont été faits au débit des sources captées, à une certaine élévation au-dessus des griffons. On doit donc considérer ce chiffre comme un minimum.

Il nous reste 281 sources dont nous ne connaissons pas le débit. En évaluant ce débit pour chacune d'elles à 10 mètres cubes seulement par 24 heures, nous aurons 2,810 mètres cubes à ajouter à 12,064 ; total 14,874 mètres cubes par jour. Ce chiffre, quoiqu'inférieur à la vérité, est considérable ; il équivaut à un débit de 620 mètres cubes par heure, de 10 mètres cubes par minute.

Malgré cet énorme débit de l'ensemble de toutes ces sources, notre calcul ne peut être qu'approximatif et notre chiffre trop faible. Il est rare en effet qu'une source amène au jour toute la quantité d'eau qu'elle produit. Il faut pour cela que par des dépôts ou des concrétions elle ait tubé le conduit qu'elle suit pour s'échapper entre les différentes roches qu'elle traverse. Si elle parvient par ce moyen à rendre imperméables tous les matériaux qui sont sur son trajet, il n'y a pas de raison pour que le dépôt s'arrête, et le tube peut être complétement obstrué soit en dedans, soit en de-

hors, au point même où l'eau vient sortir. Alors l'émission s'arrête, ou, si elle continue, ce n'est plus qu'une faible portion de produit qui s'échappe avec peine, et qui, plus tard, cessera tout à fait.

Il y a généralement moins de pertes quand les sources sortent des terrains primitifs, parce que les roches qui les composent sont moins perméables. Dans les terrains meubles ou absorbants, dans ceux où les joints multipliés des couches se prêtent facilement à l'infiltration, les sources apparentes ne sont ordinairement qu'une fraction des sources réelles.

Cela est si vrai que des bassins tout entiers sont quelquefois imbibés d'eau minérale, à tel point qu'un coup de sonde donné au hasard sur un point quelconque de ces bassins détermine immédiatement une source d'eau minérale jaillissante. On a des exemples de ces bassins imbibés à Vichy, sur le bord de l'Allier, et à Clermont sur tous les terrains situés à l'ouest de cette ville jusqu'au pied de la falaise granitique contre laquelle ils vont s'appuyer. On voit par là combien il est difficile d'évaluer le volume des sources.

Un grand nombre de fontaines minérales de l'Auvergne ne sont que de petits suintements indicatifs dont on augmente singulièrement le volume par des fouilles.

Dans ces derniers temps, les recherches ont porté principalement sur les travertins calcaires, sous lesquels il existe des masses d'eaux minérales emprisonnées. Les eaux de Royat qui, aujourd'hui, donnent à peu près 1,000 litres par minute, en donneraient 2,000, 3,000 peut-être si on finissait d'enlever les travertins qui les recouvrent encore. Elles n'existaient qu'à l'état de suintement il y a dix ans.

Ce qui se présente à Royat a lieu à Clermont dans tout

le faubourg de Saint-Alyre, à Coudes, aux Martres, dans une foule de localités sur les bords de l'Allier, des ruisseaux et des rivières, où des amas de travertins très-modernes obstruent l'orifice des fontaines.

Ainsi voilà des eaux qui existent encore aujourd'hui et qui se perdent dans le sol, et dont il faudrait ajouter le volume à celui de toutes les autres eaux minérales de l'Auvergne.

Si l'on songe maintenant à tous les travertins siliceux, à toutes les meulières, à tous les amas de fer hydroxidé répandus sur le sol, on sera bientôt convaincu que les sources minérales de notre époque, apparentes ou cachées, quel que soit leur volume, ne sont rien auprès de ces émissions considérables de l'époque tertiaire, lesquelles ont rempli la Limagne de calcaire et de silice.

Lorsque la source s'ouvre dans un lac ou dans une rivière, ou même sur le bord d'un ruisseau dont les eaux peuvent accidentellement s'élever pour en laver l'orifice, il n'y a pas de raison pour que cette source tarisse. C'est ainsi que la Limagne d'Auvergne, le bassin d'Aurillac et le creux du Puy ont dû recevoir, de sources volumineuses, tout le calcaire qui entre maintenant dans la composition de leurs terrains.

Pour terminer les considérations relatives au volume de nos sources, nous ferons aussi remarquer qu'un petit nombre d'entr'elles sont mélangées d'eaux douces et non minérales, et que leur volume se trouve par le fait un peu plus considérable qu'il ne devrait l'être ; mais, dans ces sources mêmes, la perte de l'eau minérale à travers les fissures doit encore compenser et au-delà l'augmentation de volume tout accidentelle qu'elles éprouvent.

CHAPITRE III.

De la température des Eaux minérales.

—

Il existe des eaux minérales froides comme l'eau des sources ordinaires et alors leur composition chimique peut seule les faire distinguer, mais il est bien rare que leur température ne dépasse pas celle de la ligne de température invariable. Ces eaux minérales froides sont, selon toute apparence, des eaux chaudes qui se sont refroidies en traversant les couches extérieures de la terre. Aussi voit-on rarement des sources dont le volume est considérable, arriver au jour avec une basse température. Ce sont au contraire les plus abondantes qui sont ordinairement les plus chaudes, parce que leur volume s'oppose à un trop prompt refroidissement, lors de leur arrivée par les fissures des rochers.

On trouve un grand nombre de ces sources chaudes sortant directement des terrains cristallisés, et l'on en voit même s'échapper du fond de la mer et jaillir avec force au milieu des eaux salées. Ainsi des sources d'eaux chaudes sortent dans le golfe de Naples et près de l'île de Palma dans l'archipel des Canaries. A l'île de la Guadeloupe, il y a une fontaine bouillante qui jaillit sur la grève.

Beaucoup de sources ont une température très-élevée ; celles de Trincheras près de Puerto-Caballo s'élèvent à 97°. Les sources d'Arigino, au Japon, marquent plus de 100°, et s'échappent en partie en vapeur. L'eau des Geysers d'Islande dépasse presque toujours 100 degrés ; elle atteint dans

le grand Geyser jusqu'à 124°, selon M. Lottin et selon M. Robert, mais à 20 mètres de profondeur : à 10 mètres elle est à 104°, à la surface du bassin elle est bouillante.

Celle du Strock est à 111° à la profondeur de 13 mètres, et l'on sait que la vapeur qui alimente les Lagonis atteint 140 degrés.

« Cette température extraordinaire des Geysers, dit M. Robert (*Voy. en Islande et au Groënland*, 1re partie, page 164), est sans doute due à la vapeur d'eau qui s'est accumulée dans le fond d'un réservoir en syphon, par suite de la compression que lui fait éprouver une colonne d'eau qui pèse sur elle, et qui, si elle avait cinquante pieds de hauteur, représenterait précisément, d'après M. Cordier, à qui je dois l'explication de ce phénomène, deux atmosphères et un quart, ou 124°. »

Nous sommes loin d'avoir ces hautes températures dans nos eaux thermales du plateau central; les plus chaudes, celles de Chaudesaigues, n'ont que 80 à 82°, celles de la Bourboule 52°, celles du Mont-Dore 45°.

Tout doit nous faire supposer qu'il a existé en Auvergne des sources beaucoup plus chaudes à l'époque où les volcans, anciens ou modernes, étaient dans toute leur activité. Il est certain qu'elles étaient plus abondantes et que leurs dépôts ont largement concouru à cimenter une foule de pépérites, de scories et de conglomérats volcaniques.

Dans un autre ordre d'idées, on a cru remarquer un refroidissement proportionné à la longueur du conduit qui les amène. En supposant que la fissure qui conduit ces eaux d'un même niveau ait deux kilomètres de longueur depuis son point de départ dans les couches terrestres jusqu'au niveau de la mer, il en résultera nécessairement que cette

fissure sera plus longue si elle vient s'ouvrir sur une montagne; or, le trajet étant plus long, l'eau sera d'autant plus froide qu'elle sortira à une plus grande hauteur. M. Boussaingault a essayé de déterminer cette influence par des observations précises. Il cite la source de Las Trincheras qui se trouve presque au niveau de la mer et dont la température est de 97° ; tandis que la source de Mariana (située comme la précédente et la suivante en Amérique), déjà élevée de 676 mètres, a seulement une température de 64°, enfin l'eau de la source d'Onoto, placée à 702 mètres d'élévation, n'est plus qu'à 44°, 5 (*Ann. de chimie et de physique*, février 1833, p. 182).

Nous avons aussi en Auvergne des sources étagées sur un espace assez circonscrit, et nous avons remarqué au contraire une température plus élevée dans celles qui sortent des montagnes. C'est ainsi que les eaux du Mont-Dore et de la Bourboule sont plus chaudes que celles de Vichy et de Royat, quoique ces dernières soient situées à un niveau bien plus bas.

Par contre, celles de Néris qui sont dans la plaine ont une température plus élevée que celles du Mont-Dore ou de la Bastide (Cantal), quoique ces dernières sortent des montagnes.

Il faut convenir que les observations ne sont pas assez nombreuses pour qu'on puisse regarder l'influence de l'élévation au-dessus du niveau de la mer comme une cause certaine de refroidissement pour les eaux thermales; la théorie l'indique, les trois observations de M. Boussingault la justifient, les nôtres l'infirment en partie. Les éléments de cette appréciation, c'est-à-dire, le volume comparé, la propriété plus ou moins conductrice des roches, le rappro-

chement sur le même sol, nous manquent pour cette évaluation.

Des considérations géologiques nous conduiraient sans doute à la vérité plus promptement que la comparaison des altitudes.

« La chaleur des sources des Pyrénées, comme le fait observer M. le docteur Herpin, est d'autant plus considérable qu'elles se rapprochent davantage de l'axe cristallin de la chaîne. Ainsi les eaux d'Olette dans le Roussillon ont 78°; celles d'Ax 75° ; celles de Luchon et de Barrèges plus à l'ouest ont une température moins élevée. Les plus chaudes de la vallée d'Ossan n'ont guère que 38°, et celles de Cambo, encore plus éloignées du noyau granitique, n'ont plus qu'une vingtaine de degrés. » (*Etudes médicales, scientifiques, etc., sur les Eaux minérales*, p. 167.)

Il reste toutefois à expliquer comment certaines sources très-chaudes sont accompagnées de sources froides également minérales.

M. Domeyko a cité dans ses Mémoires sur le Chili des sources minérales au nombre de quatre « sortant les unes à côté des autres dans un espace de 12 à 15 mètres de longueur et dont quelques-unes marquent plus de 30 degrés de différence dans leur température, quoique les ouvertures d'où elles sortent se trouvent à la distance de 2 à 3 pieds l'une de l'autre. » (*Ann. des mines*, 4e série, t. IX, p. 525.)

On a cru longtemps que la chaleur des eaux thermales présentait quelque chose de particulier, et l'on assurait que ces eaux se refroidissaient moins vite que de l'eau ordinaire échauffée au même degré ; mais les expériences précises que M. Longchamps a faites à Bourbonne-les-Bains, ont fait voir

qu'il n'y avait rien de fondé dans cette supposition. (*Ann. de chimie et de physique*, t. 24, p. 247.)

M. Daubrée a essayé de calculer la somme de chaleur versée dans l'atmosphère par les sources minérales de la France. Tout incomplet que soit ce calcul, il peut cependant nous donner une idée de la chaleur émise par ces sources, non-seulement dans l'atmosphère, mais encore dans le sol, près de la surface, avant leur sortie.

« Chaque source d'eau thermale, dit-il, réchauffant la surface de la terre en raison de son excès de température sur la température moyenne du lieu, et en raison de son volume, on obtiendra son influence calorifique en multipliant ces deux facteurs l'un par l'autre. — En faisant ces calculs pour les 45 sources d'eaux thermales de la France dont le volume est approximativement connu (1), on voit que leur effet équivaut, par minute, à celui de 253,534 litres, dont la température serait élevée de 1° C. au-dessus de la température moyenne de la contrée, cette température étant supposée 13° C. Cette quantité de chaleur pourrait fondre une couche de glace à 0 degré couvrant la France et ayant d'épaisseur $0^m,00000324$. — M. Elie de Beaumont, en s'appuyant sur des formules obtenues par M. Poisson (2), a calculé que le flux de la chaleur produit annuellement par le rayonnement intérieur du globe correspond, pour Paris, à la fusion d'une couche de glace d'une épaisseur de $0^m,0065$. — En adoptant ce chiffre comme général pour toute l'étendue de la France, on voit que la quantité de chaleur apportée par les sources de notre pays n'est que les 5 millièmes

(1) *Compte-rendu des ingénieurs des mines en* 1843.

(2) Poisson, *Théorie mathématique de la chaleur, supplément*, page 17.

environ du flux direct qui traverse le sol. — Dans certaines contrées peu étendues, la quantité de chaleur apportée dans l'atmosphère par les sources thermales est proportionnellement bien plus considérable. Mais comme, d'un autre côté, il existe de vastes régions dépourvues de sources thermales, peut-être la moyenne générale des continents ne diffère-t-elle pas très-considérablement de la moyenne calculée pour la France. On ignore ce qui se passe dans les profondeurs de l'Océan, où peut-être les épanchements thermaux sont plus considérables. (*Bulletin de la Soc. géol.*, 2e série, t. 4, p. 1056.)

Nous n'avons pas besoin d'ajouter que cette masse de chaleur ne peut être qu'une faible fraction de celle que produisaient les sources thermales des anciennes époques géologiques.

La chaleur des sources thermales n'a certainement pas été étrangère à l'ancienne végétation de la terre. Des considérations que nous avons publiées dans un autre travail (1) nous ont prouvé que la radiation solaire était plus intense autrefois que de nos jours. Mais cette proportion plus considérable de lumière et de chaleur n'était pas la seule cause qui pût activer le développement des plantes. Nous devons aussi rapporter à une autre action la vigueur et l'activité de la végétation des anciennes époques géologiques.

La *geothermie* ou l'échauffement intérieur du sol par des sources bien plus abondantes et bien plus chaudes que celles de nos jours, a dû jouer un grand rôle lors de ces anciennes époques.

(1) *Des glaciers et des climats, ou des causes atmosphériques en géologie*, 1 vol. in-8°. Pierre Bertrand, éditeur.

Ce n'est pas la chaleur qu'une plante reçoit sur ses feuilles qui active l'évolution de ses organes, c'est la température qui agit sur ses racines. Les plantes grasses font exception, parce que les parties foliacées semblent réunir toutes les fonctions de nutrition.

Quand nous voulons faire croître activement des plantes, nous échauffons le sol dans lequel leurs racines sont plongées ; et qui n'a remarqué même que l'eau de source à 10° ou 12° de température constante entretient, l'hiver autour des fontaines, une charmante verdure qui contraste avec la nature morte de cette saison.

Les thermosiphons cachés dans le sol de nos serres à multiplication, les réchauds de fumier situés sous nos couches à primeurs n'ont pas d'autre but que d'échauffer la terre. Quelle devait être la puissance de cette géothermie, quand la nature versait en abondance ses eaux thermales bouillonnantes et les conduisait dans mille canaux souterrains jusqu'à la surface du sol. Quelques parties de l'Islande n'ont plus de nos jours qu'une végétation entretenue par la chaleur des sources.

M. Tripier a cité aussi l'influence de la géothermie aux sources de Hammam-mes-Koutin dans la province de Constantine. « Les Lauriers roses se développent admirablement, dit-il, et présentent une floraison hâtive au bord d'une eau qui a 48° de chaleur. Il a vu des Dattiers pleins de vigueur au bord du courant, là où il possédait encore 45°, et leur présence, ajoute-t-il, doit être accidentelle, car il n'en existe pas d'autres dans un rayon extrêmement étendu. Dans le trajet de la rivière où l'eau possède une température de 40° à 50°, son lit est tapissé d'une couche épaisse de conferves filiformes ; ces productions, détachées par une cause

quelconque, viennent à la surface, où elles se décomposent en produisant une croûte écumeuse et dégagent une grande quantité de gaz infect. (*Ann. de chimie et de physique*, 2e série, t. 1, p. 353.)

Un fait des plus remarquables, relativement à la géothermie, s'est présenté à Evaux (Creuse). Les travaux des Romains étaient comblés depuis longtemps par des débris et de la terre végétale ; quelques suintements et une portion d'un bassin étaient seulement à découvert. Des eaux minérales très-chaudes s'échappant du terrain primitif s'écoulaient sous la terre végétale et entretenaient une température souterraine très-élevée ; la main, appliquée sur les rochers, percevait facilement cette sensation de chaleur. Des arbres, des Noyers surtout, dont les racines étendues descendaient jusque près des sources, acquerraient promptement un volume énorme et une végétation de feuillage tout à fait extraordinaire. Les légumes semés sur ce terrain devançaient la croissance de tous ceux des environs et n'attendaient pas le printemps pour se développer. L'hiver, pour ce point privilégié, était sans neige, la terre, sans glaces et sans frimas, ne se lassait jamais de produire. Ce terrain avait l'apparence d'une énorme bache découverte chauffée en dessous par un puissant thermosiphon.

En 1850, les travaux de recherche firent déblayer ces quelques mètres de terre qui cachaient les sources, la piscine et les bassins, et il fut facile alors de reconnaître la cause de la végétation tout exceptionnelle de cette portion de terrain.

Aujourd'hui encore, les sources se prêteraient admirablement au chauffage des serres et d'un jardin d'hiver. Leur trop plein suffirait pour échauffer à l'air libre, par un simple

drainage des plates bandes où l'on obtiendrait toute espèce de primeurs.

L'action thermale de ces eaux se manifeste encore sur quelques plantes sauvages qui parcourent promptement toutes les phases de leur végétation. Le Cresson de fontaine, qui y croît en abondance, y fleurit et y fructifie en hiver. Ses feuilles y sont d'un vert sombre, qui indique une rapide décomposition de l'acide carbonique de l'atmosphère.

Des guirlandes de Fraisiers s'élèvent sur les parois des rochers échauffés souterrainement par les eaux, et l'on voit sur ces plantes vigoureuses des fruits qui rougissent déjà lorsque les Fraisiers des environs sont encore engourdis par le froid.

On peut juger par ces simples observations de la rapidité et de l'énergie de l'ancienne végétation, en se rappelant combien les sources thermales étaient autrefois nombreuses et abondantes, et surtout aux anciennes époques géologiques, quand l'atmosphère elle-même se refroidissait à peine et que mille canaux souterrains échauffaient les racines plus encore que ne pouvait s'échauffer le feuillage plongé dans une atmosphère humide et attiédie.

Nous pourrions multiplier beaucoup ces exemples et citer en Auvergne des sources dont la température entretient pendant tout l'hiver une fraîche végétation. Il nous suffira de rappeler les conditions dans lesquelles la terre a dû se trouver à l'époque de ses anciens sédiments. Les terrains houillers proprement dits ont été précédés de ces immenses dépôts de calcaire carbonifère qui annoncent le maximum d'intensité des sources minérales. Toutes les circonstances qui peuvent favoriser le développement des végétaux étaient alors réunies, et ces circonstances se rangent sous quatre divisions principales : 1°. la puissance d'absorption ; 2°. la

présence de l'acide carbonique ; 3°. l'action de l'eau ; 4°. la température.

1°. *Puissance d'absorption.* — Les nombreux essais que nous avons faits en 1830 et en 1831 sur l'action des matières salines sur la végétation, essais que l'Académie du Gard a bien voulu récompenser par un de ses grands prix, ne nous laissent aucun doute sur le rôle de ces sels. Ils activent la végétation en stimulant les plantes et en leur donnant le pouvoir de décomposer de plus fortes proportions d'acide carbonique, ce qui équivaut à un développement plus rapide.

2°. La présence de l'acide carbonique, et nous pouvons dire sa prépondérance dans l'atmosphère, est une conséquence toute naturelle de l'émission de sources abondantes, lorsqu'elles se traduisaient en couches immenses de carbonate de chaux, provenant lui-même du bi-carbonate dont l'excès d'acide se répandait dans l'air.

3°. L'action de l'eau ou le concours de l'humidité ne pouvait manquer à des plantes arrosées par des eaux thermales ou par des eaux stagnantes et plongées dans une atmosphère de vapeur sans cesse renouvelée.

4°. La température enfin devait jouer un grand rôle dans ce concours de forces agissantes. Les plantes étaient pour ainsi dire entre deux feux. Celui du soleil dont les rayons probablement plus chauds qu'à l'époque actuelle, tout en se brisant sur un rideau de vapeur, donnaient à l'air une température élevée ; et la chaleur centrale, non que nous admettions l'action directe de celle-ci, mais l'arrivée incessante d'eaux échauffées au foyer central et présentant le plus puissant appareil géothermique que nous puissions concevoir. Ainsi, pendant que l'eau échauffait les racines des

plantes, l'air humide qui baignait leur feuillage recevait du soleil une chaleur uniforme, dispersée et tempérée par les vapeurs.

Ce nombre incalculable de calories (1) que l'eau allait puiser dans le sein de la terre, après avoir échauffé les racines, restait emprisonné sous l'écran nuageux qui s'opposait au rayonnement.

Les eaux minérales de cette époque avaient donc une immense importance; elles produisaient à elles seules les quatre conditions d'activité de la végétation : 1°. elles excitaient l'absorption et l'assimilation par leurs sels; 2°. elles produisaient à discrétion l'acide carbonique dont elles excitaient la consommation; 3°. elles arrosaient constamment les racines; 4°. elles échauffaient le sol sur de grandes étendues et accomplissaient ainsi à elles seules une des œuvres les plus grandioses de notre édifice terrestre.

Ces études sur la température élevée des eaux thermales et l'appréciation de la prodigieuse quantité d'acide carbonique qu'elles ont amenée dans l'atmosphère, ne permettraient-elles pas de se demander si ces couches si puissantes de houille, qui reposent au-dessus des terrains primitifs du globe, n'ont pas existé déjà, sous une autre forme peut-être, en-dessous de la première écorce consolidée de notre planète? Qui pourrait nous assurer que ces énormes dégagements d'acide carbonique accompagnés d'un si grand développement de chaleur ne sont pas la preuve d'une combustion du carbone par l'oxygène de l'air qui pénétrait dans l'intérieur de la terre?

(1) Une *calorie* représente la quantité de chaleur capable d'élever la température d'un kilogramme d'eau, d'un degré centigrade.

L'acide carbonique, formé à cette époque et à ces profondeurs, comme il est produit dans nos foyers par la combustion de la houille, aurait été ressaisi par la végétation et placé cette fois au-dessus des terrains primitifs.

Le carbone brûlé de nouveau par notre industrie, viendra maintenant se placer sur nos terrains superficiels sous la forme de tourbe et d'humus, et accomplir ainsi une de ces admirables migrations destinées à entretenir sur la terre le mouvement, la vie et la chaleur.

CHAPITRE IV.

De la composition des Eaux minérales.

—

La nature et le nombre des principes contenus dans les eaux minérales sont des caractères de haute importance pour les distinguer et les classer. Quoique jusqu'à présent on n'ait encore indiqué dans ces eaux qu'un nombre déterminé de corps élémentaires, ces éléments, par leurs modes différents de combinaisons, donnent naissance à un assez grand nombre de composés que nous aurons à examiner.

Il arrive assez souvent que les sels contenus dans les eaux minérales sont les mêmes que ceux des ruisseaux et des rivières, et en effet, toutes les sources se rendent dans les cours d'eau. Il y aurait pourtant cette distinction à faire, quoique difficile à reconnaître entre les eaux minérales et les eaux douces : c'est que les premières vont puiser leurs principes sous les terrains primitifs, dans les profondeurs du globe, tandis que les sources ordinaires dissolvent les leurs dans les terrains plus ou moins superficiels qu'elles traversent. Or, comme nous regardons tous les terrains de sédiment chimique comme les produits des eaux minérales, on ne doit pas être étonné de la similitude de composition que les analyses indiquent quelquefois entre ces deux espèces de sources.

Celles qui sont thermales doivent toutes être rangées dans la classe des eaux minérales, et l'on peut même affirmer,

que plus leur température est élevée, plus elles sont riches en résidus salins. Il y a toutefois des exceptions à cette règle. Les eaux de Néris, par exemple, atteignent 52° et ne donnent à l'analyse que de faibles quantités de matière saline et un peu de matière organique.

Les eaux de Schlagenbach ne contiennent à peu près rien selon Fontan, ni sels, ni matières organiques. Elles ont donc cela de moins encore que celles de Néris. Leur température est de 30°, et elles jouissent d'une grande réputation pour la guérison des maladies nerveuses. Il en est de même des eaux de Wibad, près Stuttgard, qui renferment à peine 30 centigrammes par litre de principes salins.

En revanche, certaines eaux contiennent plus de cent grammes par litre de résidu.

M. Ch. Sainte-Claire Deville a rappelé dans l'*Annuaire des eaux de la France pour* 1851, qu'il n'entrait habituellement qu'un nombre assez restreint de substances dans la composition des eaux minérales.

« On y rencontre, dit-il, un fort petit nombre d'acides » et un fort petit nombre de bases, se saturant réciproque- » ment, au moins pour l'ordinaire. Quand la saturation » n'est pas complétée, ce sont toujours les acides qui sont » en excès, jamais les bases. » Les acides sont les suivants : carbonique, sulfhydrique, sulfurique, chlorhydrique, bromhydrique, iodhydrique, azotique, phosphorique, borique et arsénique. Les bases sont : la soude, la potasse (rarement), la chaux, la magnésie, la lithine, les oxydes de rubidium et de césium, les oxydes de fer et de manganèse, plus l'oxygène, l'azote, la silice, l'alumine et des matières azotées. Ce sont bien là, il est vrai, les matières que l'on rencontre le plus habituellement dans les eaux minérales, et

les combinaisons diverses que ces corps peuvent contracter sont suffisantes pour produire beaucoup de variété dans la nature des eaux ; mais il faut remarquer que les dépôts abandonnés par les eaux minérales, ainsi que l'eau de mer où les éléments chimiques sont concentrés par une évaporation séculaire, contiennent plusieurs autres corps qui ont disparu des eaux minérales ou qui s'y rencontrent encore, mais en quantité inappréciable.

Depuis très-longtemps, nous avions émis l'opinion que les chimistes trouveraient dans les eaux minérales toutes les substances, ou du moins tous les éléments connus ; non que nous pensions que ces eaux dussent contenir ces éléments par suite d'emprunt aux terrains qu'elles traversent, mais au contraire, parce que ces terrains sont pour la plupart des dépôts d'eaux minérales.

L'analyse spectrale et les analyses entreprises sur de très-grandes quantités d'eau, dans le but d'y rechercher seulement tel ou tel principe, ont pleinement confirmé cette opinion. Il en résulte que toutes les analyses de ces eaux laissent encore à désirer et que de nombreux principes y seront certainement découverts. Nous donnerons pour preuve de ce que nous avançons la liste des éléments successivement reconnus dans l'eau de Bourbonne-les-Bains, liste que nous empruntons à la thèse remarquable de M. Grandeau.

1. Chlore............	1809, Bosc et Bezu.
2. Sodium............	
3. Calcium............	
4. Acide sulfurique......	
5. Acide carbonique......	
6. Magnésie...........	1822, Athenas.
7. Fer...............	

8.	Brôme............	1827, Delfosses et Roumier.
9.	Potassium...........	
10.	Silice..............	1848, Mialhe et Figuier.
11.	Alumine............	
12.	Iode..............	1852, Garreau.
13.	Arsenic............	1859, Chevallier.
14.	Manganèse..........	1860, Pressoir.
15.	Cuivre.............	1860, Béchamp.
16.	Lithine.............	1862, Grandeau.
17.	Strontiane..........	
18.	Rubidium...........	
19.	Césium.............	

Ainsi voilà douze chimistes qui ont examiné l'eau de Bourbonne-les-Bains dans l'espace de cinquante-trois ans, et qui ont découvert dans cette eau dix-neuf éléments non compris les deux qui constituent l'eau. N'est-on pas en droit de conclure que d'autres éléments peuvent, doivent même exister encore dans cette eau et attendent de nouvelles recherches et de nouveaux procédés d'analyse.

Il est vrai que les quantités de quelques-uns de ces principes sont très-faibles dans les eaux. Ainsi M. Grandeau indique pour un litre d'eau de Bourbonne :

Chlorure de potassium..........	0g,034
— de césium.............	0,032
— de rubidium...........	0,019
	0,085

Mais si l'on prend la peine de multiplier ce produit d'un litre par le débit de la source pendant un jour, un an, un siècle, on arrive à un chiffre énorme.

Nous pouvons donc compter que des éléments nouveaux

et certainement des combinaisons encore inconnues seront indiquées dans ces eaux.

M. Béchamp a trouvé dans l'eau du Boulou (Pyrénées-Orientales) des traces d'acide nitrique, des traces d'oxyde de cobalt, d'oxyde de nickel, et des quantités appréciables d'oxyde de cuivre et de sulfate de baryte.

La quantité d'acide carbonique dans cette source est de 5g50 par litre. (*Compte-rendu de l'Académie des sciences*, t. LVI, p. 596.)

M. Fresenius a cité dans les eaux de Weilbach, duché de Nassau, des traces d'azotate, de formiate et de propionate de soude.

La composition de l'eau du Sprudel de Carlsbad est des plus remarquables si l'on accepte comme authentique l'analyse de M. Gottl, pharmacien à Carlsbad.

L'eau contiendrait par litre environ 6 grammes de matières fixes, parmi lesquels il cite 1 gr. 2 de sulfate de potasse et des traces d'arsenic, d'iode, de brôme, d'antimoine, d'or, de cuivre, de chrôme, de manganèse, de zinc, de cobalt, de nickel, de titane, de baryte, de strontiane, de lithine, de fluor, de selenium, d'acide phosphorique, d'acide borique, de matières organiques résineuses et acides, parmi lesquelles il a noté l'acide crénique et l'acide apocrénique, et probablement, dit-il, les acides formique, ambrique et benzoique. Ces acides sont, selon ce chimiste, les principes odorants qui expliquent certaines exhalaisons comme parfumées, qui s'observent dans les caves de quelques maisons de Carlsbad, et dont on n'avait pu découvrir la cause jusqu'à ce jour. (Rotureau, t. 1, p. 332.)

Quoique la présence de tant de corps différents dans une eau minérale rentre tout à fait dans notre manière de voir,

il serait à désirer qu'un chimiste habile, comme M. Lefort qui a considérablement simplifié l'analyse des eaux de Nérac, voulût bien tenter une semblable révision sur l'eau du Sprudel.

L'eau de la mer doit donc contenir tous ces produits, et comme les précipités insolubles retiennent aussi quelques parcelles des éléments solubles des eaux, les calcaires et tous les sédiments chimiques doivent renfermer de petites quantités de ces divers éléments. Leur présence est un indice de leur formation par les eaux minérales.

Quant à l'origine des éléments contenus dans les eaux minérales, nous avons déjà dit que nous ne pouvions les considérer comme ayant été fournis par les terrains où les sources viennent paraître.

Quand nous voyons les sources de Saint-Nectaire (Puy-de-Dôme) sortir du granite et couvrir toute une vallée de carbonate de chaux, nous ne pouvons admettre que le sel calcaire était tout formé dans le granite.

C'est de cette même roche que s'échappent les eaux de Carlsbad, riches aussi en calcaire ; mais indépendamment de l'énorme quantité de carbonate de chaux que déposent ces sources, Gilbert a calculé qu'elles rejetaient chaque année en dissolution 200,000 quintaux de carbonate de soude, et 300,000 quintaux de sulfate de soude avec son eau de cristallisation.

Nous ne voyons pas non plus comment la roche primitive fournirait les sels de soude, avec un feldspath à base de potasse, et cela à doses énormes depuis des siècles.

L'eau de Balaruc, qui sort des calcaires secondaires du groupe oxfordien, n'est nullement en rapport de composition avec les terrains dont elle s'échappe. Sur 9 grammes

de résidu que laisse chaque litre de ses eaux, on trouve 7 grammes de chlorure de sodium, 1 gramme de chlorure de magnesium, principes que ne renferme pas le sol dont elle sort, et à peine 3 décigrammes de carbonate de chaux qui est la base de l'étage oxfordien.

En ce qui concerne les eaux minérales du massif central de la France, il nous serait impossible de trouver dans le sol qu'elles traversent la plupart des éléments qu'elles apportent. Elles vont certainement les chercher sous les roches primitives.

« 82 sources du plateau central de la France dont la composition nous est connue par des analyses, contiennent, disent les rédacteurs de l'*Annuaire des eaux de la France*, en moyenne, 3 gr. 631 de matières fixes dissous dans un litre d'eau. On voit qu'en général ces sources sont très-chargées : quelques-unes, comme celles de Vals, de Vichy, de Cusset, de Médagne, contiennent de 5 à 8 grammes de sels fixes par litre. Ces sels se décomposent de la manière suivante :

Sulfates	7,81
Bicarbonates	74,68
Chlorures	14,48
Acides silicique et silicates	3,03
	100,00

« La base dominante est la soude et après elle la magnésie. » Ceci est vrai relativement aux sulfates ; mais pour l'ensemble, la chaux vient immédiatement après la soude. « Quant aux sulfures, ils sont entièrement étrangers à ce groupe : quand ils y ont été signalés, ce n'était qu'en très-petite quantité, et leur présence n'était qu'accidentelle. »

Le gaz dominant est certainement l'acide carbonique, puis l'azote, l'oxygène, et enfin l'acide sulfhydrique.

L'acide carbonique est répandu en véritables torrents par la plupart des ouvertures qui amènent au jour les eaux minérales et par une foule de fissures sans eau où son dégagement devient imperceptible.

Si maintenant nous rappelons qu'il existe sur le plateau central au moins 500 sources dont nous avons évalué la totalité du débit à 14,874 mètres cubes par 24 heures, nous ne pourrons estimer à moins du tiers de ce volume l'acide carbonique dégagé, c'est-à-dire 5,000 mètres cubes par jour, sans tenir compte de tout celui qui peut s'échapper du sol, tout à fait inaperçu, par des fentes qui ne contiennent pas d'eau.

Un mètre cube de cet acide contient environ 540 grammes de carbone, ce qui porterait à 2,700 kilogrammes la somme du charbon répandu chaque jour dans l'atmosphère par les sources de cette petite partie de la France. Or, nous ne comptons ici que l'acide carbonique libre. Les carbonates contenus dans ces eaux en renferment davantage ; cet acide sort, dans la Limagne, d'un grand nombre de fissures du terrain. Il faut au moins quadrupler ce chiffre pour avoir l'appréciation réelle de l'émission charbonneuse actuelle en Auvergne. En admettant 1,000 kilogrammes par jour, on a 365,000 kilog. par an ou 365 tonnes. Si ce charbon a été brûlé dans l'intérieur de la terre par de l'oxygène provenant de l'atmosphère, il y a eu certainement un dégagement de chaleur presque suffisant pour échauffer l'eau de ces sources, bien que nous attribuions leur élévation de température à une tout autre cause.

En n'accordant à chaque litre de ces eaux minérales que

3 grammes de principes fixes en dissolution, quantité encore inférieure à la vérité, nous avons 3 kilogrammes par mètre cube, et par conséquent 44,622, ou plus de 44 tonnes par 24 heures, ce qui équivaut à cinq wagons bien chargés.

Les eaux minérales qui sortent de terre par les fractures du sol sur le plateau central, versent donc en matières solides, extraites du sein de la terre et puisées sous les terrains primitifs, 500 grammes par seconde, 30 kilogrammes par minute, 1855 kilogrammes par heure, 44,622 kilogrammes par jour, ou enfin 16,287,030 kilogrammes par année. Un siècle changerait ce chiffre rond de 16 millions en un milliard 628 millions de kilogrammes, et les siècles pour la nature sont moins que les secondes pour notre existence.

Que l'on veuille bien remarquer que dans cette énumération nous n'avons parlé que d'une partie de la France, et que toutes nos évaluations sont trop faibles.

Il nous reste maintenant à résumer le nombre des éléments trouvés jusqu'ici dans les eaux minérales, et à étudier leurs nombreuses combinaisons.

Voici la liste des éléments connus jusqu'à ce jour. Nous avons marqué d'un astérisque ceux qui ont été signalés par les chimistes dans les eaux minérales actuelles.

1er GROUPE. — MÉTALLOÏDES.

* Oxygène	Selenium	* Iode	* Bore
* Hydrogène	Tellure.	* Fluor	* Silicium
* Azote	* Chlore	* Phosphore	* Carbone
* Soufre	* Brôme	* Arsenic	

2e GROUPE. — MÉTAUX.

* Potassium	Didyme	Tantale-Columbium
* Sodium	Erbium	Niobium
* Lithium	Terbium	Ilmenium
* Césium	* Manganèse	Pelopium
* Rubidium	* Fer	* Cuivre
Thallium	* Cobalt	* Plomb
* Barium	* Nickel	Bismuth
Strontium	* Zinc	Mercure
* Calcium	Cadmium	* Argent
* Magnesium	Chrôme	* Or
Glucinium	Tungstène	Platine
* Aluminium	Molybdène	Palladium
Zirconium	Vanadium	Rhodium
Thorium	Uranium	Iridium
Yttrium	* Antimoine	Rhuthenium
Cerium	* Etain	Osmium
Lantane	* Titane	

Notre travail serait très-incomplet si nous ne nous occupions que des éléments indiqués jusqu'ici dans les eaux minérales; nous aurons à examiner, à notre point de vue, la plupart des corps simples et à rechercher dans leurs combinaisons celles que l'on peut attribuer à la réaction de l'eau sur les diverses couches élémentaires dont notre planète est formée. Car la vapeur d'eau d'abord et ensuite l'eau liquide, sont les agents qui ont amené de l'intérieur du globe la plupart des minéraux qui se trouvent à sa surface ou qui ont été déposés dans les fractures et dans les cavités des roches plutoniques. Nous suivrons l'ordre du tableau.

CHAPITRE V.

De l'Oxygène. — De l'Hydrogène. — De l'Azote. — De l'Ammoniaque.

—

Deux de ces éléments constituent l'eau qui a, comme on le sait, la propriété de mouiller et de dissoudre un grand nombre de corps, mais l'affinité de l'oxygène pour la majeure partie des éléments, celle de l'hydrogène pour quelques-uns d'entr'eux, ne permettent pas à ces gaz d'arriver purs avec les eaux minérales. Il est même douteux qu'autrefois les sources aient versé ces gaz dans l'atmosphère. La théorie indique cependant que, par suite de la décomposition de l'eau à une température élevée, dans l'intérieur du globe, ces deux gaz doivent être mis souvent en liberté, mais la décomposition de ce liquide dans ces circonstances est évidemment favorisée par des corps avides de combinaisons nouvelles avec l'oxygène surtout, et avec l'hydrogène, en sorte que ces deux éléments ne nous arrivent qu'après leurs réactions.

DE L'AZOTE.

La présence de l'azote dans les eaux minérales est un fait extrêmement fréquent. Anglada, qui avait remarqué ce dégagement dans toutes les eaux sulfureuses des Pyrénées, l'attribuait à ce que l'eau sulfureuse rencontre de l'air dans son cours souterrain, et en dissout une certaine quantité; l'oxygène de l'air réagissant sur le sulfure alcalin, le détrui-

rait en partie, et l'azote deviendrait libre. Cette théorie ne peut se soutenir relativement aux sources non sulfureuses qui laissent dégager d'énormes quantités d'azote.

M. Filhol a proposé, dans son savant ouvrage sur les eaux minérales des Pyrénées, une autre théorie très-ingénieuse.

« Il me paraît incontestable, dit-il, que l'azote qui se dégage au bouillon des sources sulfureuses a primitivement appartenu à l'atmosphère. Soit que l'air ait été dissous par l'eau à la surface du sol, avant qu'elle fût minéralisée, soit que le liquide thermal l'ait rencontré dans les profondeurs, il me semble que l'on peut, dans tous les cas, se rendre compte de l'absorption de l'oxygène de cet air et du dégagement d'azote de la manière suivante : »

« Toutes les eaux sulfureuses des Pyrénées contiennent une proportion plus ou moins notable de matière organique. Cette matière organique possède, comme il est facile de s'en assurer, un pouvoir réducteur très-puissant ; il suffit, par exemple, après avoir exposé une eau sulfureuse au contact de l'air, jusqu'à ce qu'elle ne contienne plus aucune trace de sulfure alcalin, de l'introduire dans une bouteille bien bouchée où on la conservera pendant plusieurs mois ; on trouvera presque toujours, au bout de ce temps, qu'elle est redevenue sulfureuse, et que l'air qui existait dans le goulot de la bouteille, entre le liquide et le bouchon, *ne contient plus d'oxygène*. La matière organique a donc absorbé, et l'oxygène de l'air et celui des sulfates, et, en même temps, qu'elle produisait un sulfure alcalin, elle a mis de l'azote en liberté. »

« Rien n'empêche d'admettre qu'un phénomène du même ordre se produit pendant la formation des eaux sulfureuses

thermales. On s'expliquerait alors pourquoi ces eaux arrivent à la surface du sol sans avoir perdu leur sulfuration. La matière organique qui a déterminé la formation du sulfure de sodium, ayant préalablement désoxygéné l'air qui aurait pu les altérer, ces eaux chemineraient des profondeurs vers les couches supérieures dans une atmosphère protectrice (azote) jusqu'à ce qu'enfin, arrivées à une faible distance du griffon, elles rencontreraient de nouveau un air normal dont elles dissoudraient une petite quantité. Cet air serait promptement dépouillé de son oxygène, et le sulfure alcalin subirait, sous son influence, une décomposition rapide. »

« La théorie que je viens d'exposer, ajoute M. Filhol, aurait même l'avantage de pouvoir expliquer pourquoi plusieurs sources qui ne sont pas sulfureuses, peuvent fournir un dégagement plus ou moins considérable d'azote. » (*Eaux minérales des Pyrénées,* p. 222.)

Quelque ingénieuse que soit cette théorie, elle ne rend pas compte du dégagement d'azote dans des eaux qui ne renferment pas de matière organique. Elle n'explique pas, en admettant même la présence de la matière organique, les quantités prodigieuses d'azote pur qui se dégagent de quelques sources. D'un autre côté, si, comme le pense et l'a écrit M. Filhol, la matière organique des sources thermales pénètre toute formée, par suite du lavage des terrains superficiels, jusque dans les profondeurs du globe d'où elle remonte ensuite à la surface, on ne peut plus la considérer comme possédant un « pouvoir réducteur très-puissant » ; car ce pouvoir, elle a dû l'exercer avant de pénétrer dans les fissures du sol.

La théorie qui attribue les principes des eaux minérales à des lavages du sol superficiel et à des dissolutions sur les

roches qu'elles traversent n'est pas soutenable. Si les eaux pluviales ont entraîné dans les fissures des terrains de la matière organique, y ont-elles conduit aussi le soufre ou les sulfates nécessaires pour le former? Nous avons déjà supposé que, par une sorte de cémentation, l'air pouvait pénétrer jusqu'à la surface d'action chimique de la croûte terrestre, y oxyder des métaux et abandonner l'azote avec ses caractères négatifs.

Nous ne verrions rien d'impossible non plus à ce que l'intérieur du globe renfermât des amas d'azote comme il renferme certainement, sous l'écorce primitive, ou du carbone ou de l'acide carbonique liquide ou solide, et nous ne voyons pas non plus pourquoi l'azote solidifié sous des conditions que nous ne pouvons produire, n'existerait pas aussi emmagasiné dans ces profondeurs de la terre qui nous cachent tant de phénomènes inconnus.

Il y a des eaux qui donnent à la fois de l'azote, de l'oxygène et de l'acide carbonique ; ainsi, par exemple, à Wildbad, dans le royaume de Wurtemberg, le professeur Degen a trouvé dans cent parties de gaz :

Acide carbonique................	12,50
Oxygène.........	8,25
Azote......	79,25
	100,00

Les gaz dégagés des suorces d'Aix-la-Chapelle contiennent 80 et jusqu'à 87 pour cent d'azote uni à une petite quantité d'hydrogéne sulfuré.

Rozet a signalé l'azoté comme se dégageant en abondance des sources de Bourbon-Lancy.

La théorie la plus simple pour expliquer le dégagement d'azote des eaux minérales, serait de considérer ce gaz comme pénétrant mêlé à l'oxygène, c'est-à-dire sous la forme d'air atmosphérique jusqu'à la surface d'action chimique du globe, surface qui doit devenir de plus en plus profonde par suite du refroidissement progressif de la terre.

L'oxygène entrerait dans de nombreuses combinaisons et l'azote se dégagerait. Il est vrai que, dans cette théorie, le dégagement d'azote devrait être un fait général pour les sources, tandis qu'il est souvent l'exception.

Nous ne pouvons guère douter pourtant qu'à l'époque où les eaux thermales étaient dans toute leur puissance, elles n'aient versé, par suite des réactions de l'air, d'immenses quantités d'azote qui ont pu modifier, à la longue, la composition de l'atmosphère et la rendre moins active en changeant les proportions des deux gaz qu'elle renferme.

Les nombreuses analyses de roches faites par M. Delesse lui ont fait découvrir de l'azote dans un certain nombre de minéraux. Cet azote n'implique pas toujours la présence d'une matière organique, mais il la fait soupçonner. Or, une matière de ce genre existant dans des minéraux, laisse supposer que l'eau minérale n'est pas étrangère à leur origine, puisque la fusion détruirait nécessairement cette matière.

DE L'AMMONIAQUE.

L'ammoniaque est indiquée par MM. Jutier et Lefort dans les eaux de Plombières. « Nous avons obtenu, disent-ils, ce résultat avec les sources tempérées, et nous avons cru apercevoir que la source ferrugineuse, malgré sa faible minéralisation, était plus riche en ammoniaque que les autres sources. »

« Ils ajoutent que l'ammoniaque provenait de l'eau minérale elle-même, et qu'elle n'avait pas été formée par la chaux aux dépens de la matière organique azotée des diverses sources de Plombières. Des expériences spéciales ont prouvé à l'un de nous que la chaux caustique délayée dans 4 à 5 fois son volume d'eau, et chauffée modérément avec une matière organique azotée, ne donnait pas naissance à du gaz ammoniac. »

« Tout nous porte à penser que l'ammoniaque des eaux minérales qui nous occupent, est un des produits accidentels formés dans les profondeurs de la terre aux dépens des matières azotées. Ce sont ces dernières qui, ainsi modifiées, entraînées par les eaux à l'état soluble, et placées dans des conditions spéciales, donnent naissance aux conferves observées par Bory de Saint-Vincent, sous le nom de *Oscillaria Mougeoti.* » (*Etudes sur Plombières*, *p.* 174.)

On ne peut guère admettre plus clairement les générations spontanées. D'un autre côté, cette combinaison souterraine de l'azote et de l'hydrogène se rapproche déjà d'une création de matière organique. Il suffit que du carbone s'ajoute à ces deux éléments avec une certaine proportion d'oxygène pour constituer de la matière organique.

L'acide carbonique en s'unissant à l'ammoniaque chimiquement, forme le carbonate d'ammoniaque, et si cette dernière base peut, en certaines circonstances, naître dans les eaux minérales, la présence presque constante de l'acide carbonique a dû produire un carbonate volatil qui, parfois peut-être, se sera perdu dans les analyses.

Si les quatre éléments qui réunis par les lois de l'affinité, en proportions fixes forment le carbonate d'ammoniaque, sont au contraire unis sous l'influence de la vie, ils cons-

tituent une foule de matières organiques également à proportions définies et dont plusieurs offrent une composition très-analogue à ce sel ammoniacal.

Nous sommes très-ignorants de toutes les combinaisons qui peuvent se produire dans le sein de la terre à l'aide d'une température élevée et d'une pression considérable. Le nombre de ces combinaisons s'est tellement accru depuis quelques années, que nous devons prévoir encore de nombreuses découvertes. En nous reportant en arrière, nous pouvons supposer aussi qu'à l'époque où ces sources avaient une si puissante énergie, elles ont pu donner lieu à des composés organiques qui ne se produisent plus et concourir ainsi à l'apparition et au développement de la vie sur la terre.

L'iode, le brôme et l'ammoniaque existent aussi en quantité très-notable dans l'eau de Coese, en Savoie, laquelle a été analysée par M. Pyrame Morin, de Genève.

M. Bouis a signalé l'ammoniaque dans plusieurs eaux des Pyrénées, dans l'eau de Challes en Savoie, et surtout dans l'eau d'Enghein et dans celles des Thernes, mais nous pensons comme lui que cet alcali peut provenir de combinaisons qui s'opèrent dans les terrains plus ou moins modernes d'où ces eaux s'échappent. Il n'a pas trouvé d'ammoniaque dans les eaux qui sortent directement du granite. (*Compte-rendu des séances de l'Académie des Sciences*, t. 42, p. 1269.)

La présence de l'ammoniaque dans l'oxyde de fer qu forme le filon de Cumba près de Marmato, et qui a été constatée par M. Boussingault, prouve encore que cet alcali peut être formé, sous certaines conditions, dans les sources ferrugineuses. (*Ann. de Chimie*, t. 43, p. 334.)

L'ammoniaque se forme aussi de toutes pièces dans les volcans.

L'ammoniaque sulfatée est produite de nos jours dans les lagonis de la Toscane.

Comme dans les eaux minérales, par la même raison, la matière organique se trouve aussi dans ces eaux, comme dans les eaux chlorurées de l'Auvergne et des autres contrées. Il y a certainement une relation intime dans le sein de la terre entre les causes qui donnent naissance au chlorure de sodium et celles qui favorisent l'apparition des matières bitumineuses.

La combinaison de l'azote avec l'oxygène est à peine indiquée dans les eaux minérales ; cependant M. Béchamp a cité des traces d'acide nitrique dans les eaux du Boulou. Nous reviendrons sur ce sujet en parlant du nitrate de soude.

MM. H. Sainte-Claire Deville et H. Debray ont signalé aussi la présence de l'acide nitrique dans le bioxyde de manganèse de Giessen, et cela en quantité très-notable : il y en aurait à peu près 2 pour cent. Il est évident pour nous que cet acide a été amené par les mêmes eaux minérales qui ont abandonné le manganèse. Les savants que nous venons de citer, considérant que l'on n'obtient jamais dans les laboratoires le bioxyde par oxydation directe, seraient même disposés à admettre que, dans la nature, cet oxyde dérive du nitrate. C'est, en effet, par la décomposition de l'acide manganique et du nitrate de manganèse qu'on obtient l'oxyde dans les laboratoires.

« Le nitrate de manganèse, neutre ou acide, dissous dans l'eau et chauffé en vases clos vers 150 degrés, laisse déposer du bioxyde noir, miroitant, mamelonné comme certains

manganèses naturels, mais nullement cristallisé. Cette expérience faite par Senarmont, et répétée par MM. Deville et Debray, étant rapprochée de la présence de l'acide nitrique dans le manganèse naturel, donne beaucoup de probabilité à l'opinion que nous venons d'émettre. » (*Compte-Rendu de l'Académie des Sciences*, t. 50, p. 869.)

Nous devons dire toutefois que M. Boussingault qui avait déjà indiqué l'acide nitrique dans le manganèse croit que l'on pourrait aussi expliquer la présence des nitrates dans cette circonstance par celle « de substances organiques azotées, ou des poussières dont le manganèse pulvérisé du commerce est toujours plus ou moins souillé. » D'après M. Boussingault, la diffusion de l'acide nitrique dans la nature serait aussi générale que celle de l'ammoniaque.

CHAPITRE VI.

Du Soufre. — De l'Acide sulfhydrique. — De l'Acide sulfurique.

Le soufre est comme le fer un de ces éléments que l'on rencontre partout dans la nature ; il entre même, comme le phosphore, dans la composition des êtres vivants. Il n'y a donc rien d'étonnant, que le soufre libre ou plus souvent combiné, se trouve dans les eaux minérales. S'il existe des eaux dans lesquelles on ne signale ni le soufre ni ses acides à l'état de liberté, l'analyse y révèle toujours quelques sulfates. Nous aurons donc à examiner dans les eaux minérales : le *soufre*, l'*acide sulfhydrique* et l'*acide sulfurique*. Nous renverrons pour les sulfates à l'élément qui forme la base de chacun d'entr'eux.

DU SOUFRE ET DE L'ACIDE SULFHYDRIQUE.

Le soufre pur se dépose en assez grande quantité de plusieurs sources. Ce soufre est pulvérulent ou concrétionné, d'un jaune pâle et ressemble un peu à la fleur de soufre du commerce.

Nous ne connaissons en Auvergne que deux points qui présentent du soufre qui puisse être attribué à des eaux minérales. L'un de ces points est le puy de la Poix, d'où s'échappe encore une certaine quantité d'hydrogène sulfuré. Du soufre presque blanc, un peu concrétionné, en couches

minces, tapisse quelques fissures de la pépérite à travers laquelle les eaux s'échappent.

L'autre localité existe au-dessus de Dore-l'Eglise. C'est dans les fissures d'un gneiss que le soufre paraît sublimé, en petits cristaux jaunes et brillants. Il y a bien très-près de là quelques sources minérales peu apparentes qui peuvent être l'indice de sources plus anciennes et plus abondantes, mais nous devons supposer que la source qui a formé le soufre dans les fissures du gneiss est aujourd'hui tout à fait tarie ou déplacée.

La production du soufre par les eaux minérales est un fait géologique d'une grande importance, car la plupart des mines de soufre doivent leur origine à de semblables dépôts. Nous avons recueilli du soufre aux eaux d'Aix-la-Chapelle, aux eaux d'Aix en Savoie, au puy de la Poix en Auvergne, et M. Léon Soubeiron nous a donné de belles croûtes de soufre recueillies à Bagnères de Luchon, où nous avons vu nous-mêmes les dépôts. « Le soufre qui constitue ces dernières incrustations, dit M. Filhol, lesquelles ont quelquefois plus de 2 centimètres, a un aspect cristallin et une belle couleur jaune ; il brûle avec facilité et ne renferme que des traces de matières étrangères. Vues à la loupe, les petites masses retirées de l'intérieur du conduit paraissent formées par la réunion d'une multitude d'aiguilles très-déliées, dont la forme est la même que celle des cristaux de soufre qu'on prépare en faisant fondre ce corps, et décantant la partie qui est encore liquide, alors que celle qui touche aux parois du vase est déjà solidifiée. »

« Me trouvant à Bagnères de Luchon, continue M. Filhol, quand on a démoli les anciens réservoirs, j'ai pu recueillir *sur leur voûte*, et toujours dans des endroits où l'eau

n'atteignait jamais, une énorme quantité de soufre. La place qu'occupait ce soufre ne pouvait laisser aucun doute quant à son origine : il est évident qu'il avait dû être transporté sur la voûte des réservoirs, sous la forme d'une combinaison gazeuse ; et comme l'expérience prouve que les eaux de Bagnères de Luchon laissent dégager de l'acide sulfhydrique quand on les fait chauffer, il est naturel de penser que les dépôts de soufre dont nous venons de parler doivent leur origine à la décomposition de ce gaz par l'oxygène de l'air qui, pénétrant dans les conduits ou dans les réservoirs en trop faible quantité pour pouvoir brûler les deux éléments de l'acide sulfhydrique, brûle seulement le plus combustible, l'hydrogène, et met le soufre en liberté. » (*Eaux minérales des Pyrénées,* p. 197.)

Les eaux sulfureuses qui, comme celles de Bagnères de Luchon et d'Aix, abandonnent du soufre sublimé par suite de la décomposition de l'acide sylfhydrique, ont aussi la propriété de blanchir dans certaines circonstances. M. Filhol explique cette lactescence des eaux par un précipité de soufre, lequel serait mis en liberté par la réaction de l'acide silicique et peut-être aussi de l'acide carbonique sur le gaz sulfhydrique. Aussi l'eau qui doit blanchir se décompose en donnant de l'acide sulfhydrique et du carbonate ou du silicate de soude. Nous avons vu souvent l'eau du puy de la Poix, près de Clermont, entièrement laiteuse, et l'on sait qu'il s'en dégage une grande quantité de gaz hydrogène sulfuré.

Cette lactescence qui a pu autrefois se produire avec plus d'intensité pourrait nous donner la clé de l'origine de certains dépôts de soufre qui se seraient opérés de cette manière.

M. Russégger a signalé des dépôts de soufre sur les parois des roches de craie du cap Hamamm entre le Caire et Suez. Ils sont formés de nos jours par des sources thermales et salées dont la température dépasse 68°.

M. Robert indique en Islande la présence simultanée du soufre et de la silice aux sources de Laugarvatn (lac des Bains). « Le sol entre les sources et les eaux du lac est composé entièrement d'hydrate de silice savonneux, en fragments, et paraît avoir été déposé anciennement. Ces eaux thermales semblent abandonner aujourd'hui plus de soufre que de silice. Cependant le conglomérat basaltique, formé de galets de différents volumes, qui entoure les sources, est pénétré de silice d'un gris bleuâtre. Tout à fait à l'orifice de ces sources, des fragments et des galets de laves basanitiques poreuses sont aussi recouverts de concrétions siliceuses; souvent c'est le soufre qui remplace cette espèce de ciment dans les mêmes circonstances. » (*Bull. de la Société géol.*, t. 11, p. 339.)

Quoique la plupart des principes contenus dans les eaux minérales y existent encore en proportion quelquefois très-faible, il n'en est pas moins vrai que l'émission de quelques-uns de ces principes paraît avoir eu ses époques distinctes. Aussi il n'est pas douteux que la période du gypse et du soufre n'ait atteint son maximum dans les terrains secondaires, puis un second maximum dans les terrains tertiaires. Beaucoup de gîtes de plâtre et de soufre sont postérieurs aux terrains dans lesquels on les rencontre et y ont été déposés par des eaux minérales.

La Sicile, si riche en dépôts de soufre et de gypse, offre de nombreux exemples de ce mode de formation.

« L'association du gypse, du soufre, du sel gemme avec

des marnes et des concrétions siliceuses analogues aux meulières, dit Constant Prévot, est un des principaux traits de la géologie de la Sicile. Cette grande formation, pour ainsi dire mixte entre les sédiments et les précipités, dans les caractères particuliers de laquelle on reconnaît, avec les effets d'un dissolvant liquide, l'influence plus ou moins directe d'un ou de plusieurs agents qui auraient exercé leur action de bas en haut, se voit dans presque toutes les parties de la Sicile, depuis les environs de Melazzo jusqu'à Trapani, et de là à la plaine de Catane; partout elle a le même *facies;* mais elle n'est pas continue : elle apparaît çà et là, comme des mamelons isolés, et quelquefois formant de longues collines à surface très-tourmentée, qui semblent s'élever du fond de bassins ou de vallées ouvertes dans des terrains d'âge très-différent. » (*Bulletin de la Société géol. de France,* t. 2, p. 404.

Le sulfate de strontiane dont les groupes cristallisés et brillants accompagnent le soufre dans cette ocalité doivent sans doute aussi leur origine à des émanations souterraines aqueuses.

Quoique plusieurs chimistes n'admettent pas que l'acide sulfhydrique puisse exister dans les eaux minérales à l'état de liberté, il faut pourtant se rendre à l'évidence et reconnaître que, dans certains cas, ce gaz s'échappe en quantité très-notable de quelques sources, et qu'i ne peut provenir de la décomposition des sulfates. Ainsi, au puy de la Poix, en Auvergne, il se dégage de l'eau salée qui sort avec lui et forme souvent de grosses bulles enveloppées de bitume qui viennent crever à la surface.

Souvent, dans le creusement des puits artésiens, la sonde a atteint des terrains qui emprisonnaient de l'hydrogène sul-

furé qui s'échappait avec violence. Mais dans la plupart des sources où l'hydrogène sulfuré se manifeste, il est bientôt décomposé ou bien il s'unit à des alcalis et forme des sulfures solides.

C'est à l'hydrogène sulfuré qu'il faut rapporter le soufre des fissures du puy de la Poix et probablement le soufre des environs de Dore-l'Eglise.

Aux bains de Saint-Philippe, en Toscane, l'hydrogène sulfuré en contact avec l'air atmosphérique, le décompose et se décompose lui-même. « L'hydrogène, dit Santi, et une partie du soufre, se combinent avec l'oxygène de l'air, avec lequel le premier forme de l'eau, et le second forme de l'acide sulfurique. Celui-ci venant à se délayer dans l'eau nouvellement formée, et avec les vapeurs aqueuses qui y existaient auparavant, se combine d'abord jusqu'à parfaite saturation avec le carbonate de chaux des parois, de la voûte et du sol de la grotte; ensuite, comme il trouve le sulfate de chaux bien saturé et hors d'état de se combiner avec une nouvelle quantité d'acide, il se condense, il s'amasse, et se trouvant délayé, il retombe en gouttes, entraînant avec lui des particules de sulfate de chaux auquel il donne insensiblement la figure cristalline et la forme de stalactite qui s'y voit sous tant de formes différentes. » (*Voyage au Montamiata*, t. 1, p. 23.)

Très-souvent, la présence de bases et surtout de la soude, offre à l'hydrogène sulfuré une combinaison facile, et il en résulte des sulfures ou des hydrosulfates solubles que l'on trouve dans la plupart des eaux sulfureuses.

Les sulfates existant dans les eaux minérales, en contact avec les matières organiques, peuvent aussi par leur décomposition donner naissance à des sulfures et à de l'acide

sulfhydrique. C'est à une décomposition de ce genre qu'il faut attribuer l'odeur infecte du port de Marseille, de plusieurs amas d'eau stagnante, et même de plusieurs sources minérales réputées sulfureuses.

Les eaux de Chaufontaine, entre Liége et Spa, ne sont sulfureuses que par suite du développement d'Oscillaires qui s'accumulent en grande quantité dans l'aqueduc, et qui finissent, en se putréfiant, par répandre, lorsque l'on remue la boue qu'elles forment, une odeur d'hydrogène sulfuré prononcée, par la décomposition d'une portion de sulfate de chaux par ces matières (Fontan, *Ann. de chimie et de physique*, 2e série, t. 74, p. 274.)

L'origine de ces eaux sulfureuses n'est donc pas difficile à indiquer; le sulfure qu'elles contiennent provient de la décomposition des sulfates par des matières organiques; mais, selon nous, la difficu té reste la même, car il faut chercher l'origine des sulfates. D'ailleurs, ce ne sont pas les sulfates qui peuvent donner naissance directement à l'acide sulfhydrique, et quantité d'eaux sulfureuses, comme la plupart des eaux minérales, sortent de terrains qui ne renferment pas les éléments contenus dans ces eaux. C'est donc toujours dans les laboratoires souterrains, sous la zone de roches primitives qu'il faut chercher la cause de la minéralisation des sources.

Au reste, la question des eaux sulfureuses a, comme on le sait, agité et divisé es chimistes, et au point de vue de leur origine, et pour savoir sous quel état se trouvait le soufre.

Presque tous sont aujourd'hui d'accord sur ce dernier point de la question et pensent que le soufre e la plupart des eaux minérales sort de terre à l'état de monosulfure de

sodium. Mais au contact de l'air, et surtout en présence de l'air contenu dans les eaux minérales, le sulfure alcalin doit se transformer peu à peu en sulfate, et c'est, en effet, ce qui arrive, car il résulte des recherches de M. Filhol sur les eaux des Hautes-Pyrénées, que la proportion de sulfure de ces eaux est en sens inverse de la quantité de sulfates.

D'un autre côté, on pourrait renverser la question et se demander si ces eaux n'auraient pas originairement contenu du sulfate, et si ce dernier n'aurait pas été transformé en sulfure par l'action de la matière organique préexistante. C'est ce qu'admet M. Filhol, et ce que nous n'admettons pas pour les eaux qui sortent des terrains primitifs.

Les eaux sulfureuses des Pyrénées seraient, pour M. Filhol, des eaux sulfatées dégénérées. Ces eaux devraient, selon lui, leur origine à la même cause que celles d'Enghien. Dans les premières, ce serait du sulfate de soude décomposé par la matière des végétations sulfuraires, et dans l'autre, du sulfate de chaux altéré par la matière soluble des tourbes et des lignites qui donnerait naissance au principe sulfureux.

Il faudrait, dans ce cas, effacer la distinction établie entre les diverses espèces d'eaux sulfureuses; les eaux des Pyrénées, *à base de sulfure de sodium*, ont été désignées par Anglada sous le nom de *sulfureuses naturelles*. Les eaux *à base de sulfure de calcium* ont été appelées par lui *sulfureuses accidentelles*.

M. Filhol, en parlant des sources pyrénéennes qui doivent leur sulfuration au sulfure de calcium, fait remarquer que c'est surtout dans les couches de plâtre qui ont accompagné le soulèvement des ophites que ces sources paraissent prendre naissance. « Elles ont été primitivement salines, dit

M. Filhol, et sont devenues sulfureuses par suite de la décomposition que les sulfates de chaux et de magnésie qu'elles renferment ont éprouvé sous l'influence des matières organiques dont le sol qu'elles traversent est visiblement imprégné; c'est presque toujours après avoir traversé des couches de tourbe plus ou moins épaisses, que ces eaux acquièrent l'odeur, la saveur et les autres propriétés qui caractérisent les eaux sulfurées calciques. » Nous ne voyons pas pourquoi ces sources ne seraient pas les restes de celles qui ont formé les gypses.

Nous considérons, avec M. Sainte-Claire Deville, les eaux sulfureuses comme des phénomènes tout à fait analogues aux émissions des vo cans ou solfatares. Il fait donc venir, avec raison, le soufre et son acide hydrogéné de l'intérieur de la terre. Quelque ingénieuses et rationnelles que soient les théories des chimistes sur les réactions des vapeurs et des eaux sur les terrains qu'elles traversent, il faudra toujours reconnaître que tous les produits qui sont venus se déposer sur le sol primitif ont été puisés par-dessous, et proviennent de la surface d'action chimique qui existe sous l'écorce primitive, au point où l'air et l'eau peuvent atteindre. Là ont lieu les réactions qui, dans l'origine des terrains, se passaient à la surface, réactions qui ont été en diminuant d'intensité à mesure que cette surface d'action a pénétré vers l'intérieur.

DE L'ACIDE SULFURIQUE.

La présence de l'acide sulfurique libre dans une eau courante a été signalée par Humboldt dans l'Amérique équinoxiale, dans le Rio-Vinagre, au volcan de Puracé dans le Popayan. On le connaît aussi dans les grottes du Vésuve

et de l'Etna, dans une grotte de St-Philippe en Toscane, comme nous l'avons dit un peu plus haut, et où il résulte probablement de la décomposition de l'hydrogène sulfuré.

Dans le Rio-Vinagre, M. Boussingault a calculé un débit de 34,784 mètres cubes d'eau par 24 heures. En avril 1831, d'après le savant voyageur que nous venons de citer, ce cours d'eau entraînait pendant ce laps de temps :

38,611 kilos d'acide sulfurique ;

31,654 kilos d'acide hydrochlorique.

M. Boussingault fait suivre ce résultat des réflexions suivantes :

« Telle est l'énorme quantité de soufre et de chlore émise, chaque jour, par quelques issues seulement du volcan de Puracé, et sans tenir compte des abondantes vapeurs d'acide sulfhydrique qui se dégagent constamment du cratère. A une époque où l'on était peut-être porté à attribuer une trop grande influence à l'action que les êtres organisés exercent sur la composition de l'atmosphère, j'ai signalé l'émission incessante d'acide carbonique qui a lieu par les bouches volcaniques, comme une des causes les plus capables de restituer à l'air le carbone assimilé par les plantes et les animaux. Aujourd'hui qu'il est possible d'apprécier, avec un certain degré d'exactitude, tout ce qu'un seul volcan peut rejeter de soufre et de chlore, on accordera, je pense que, les phénomènes volcaniques ne se bornent pas à apporter du carbone à la surface du globe, mais qu'ils y apportent encore un autre élément tout aussi indispensable à l'organisme des êtres vivants, le soufre. » (*Observat. sur une eau minérale acide du Paramo, compte-rendu de l'Académie des sciences*, tome 24, p. 398.)

Cette quantité prodigieuse de 38,611 kilos d'acide sulfu-

rique par 24 heures est encore dépassée par la découverte que M. Degenhart a faite dans le Paramo de Ruiz. L'eau y contient, d'après les analyses de M. Lewy, trois fois plus d'acide sulfurique que le Pasambo.

Ce n'est, comme on le voit, que dans le voisinage des volcans que de si grandes quantités d'acide peuvent se dégager de l'intérieur du sol, mais le foyer des volcans comme celui des sources minérales est absolument le même, et se trouve situé à des profondeurs variables dans l'intérieur du globe.

Ce Rio-Vinagre, dont les eaux contiennent une si grande quantité d'acides, prend naissance à 3500 mètres de hauteur, dans un endroit inaccessible du volcan de Puracé; les sources sont très-chaudes et se précipitent en cascades qui tombent à plus de 125 mètres de profondeur dans le Rio-Cauca. Cette rivière est dépourvue de poissons pendant un cours de 16 à 18 kilomètres, à cause du mélange de ses eaux avec celles du Rio-Vinagre.

Le volcan de Puracé est un dôme de trachyte semi-vitreux, gris, bleuâtre et à cassure conchoïde; il n'offre pas un grand cratère à son sommet, mais plusieurs petites ouvertures; sa bouche est une fente verticale dont l'ouverture visible n'a que deux mètres de long et un mètre de large. Elle est recouverte en forme de voûte par une couche de soufre très-pur qui a un demi-mètre d'épaisseur. Le bruit que l'on entend près de cette ouverture, ne peut être comparé qu'à celui que causeraient plusieurs machines à feu, au moment où l'on ferait échapper la vapeur condensée. L'ouverture communique à un bassin rempli d'eau en ébullition. Cette eau n'a pas de goût acide, mais elle exhale une forte odeur d'hydrogène sulfuré, et elle contient de

l'acide muriatique. Les vapeurs qui sortent de la crevasse avec violence, sont de l'acide sulfureux ; il est probable que le soufre qui s'amasse sur les bords de cette crevasse est produit par la réaction de l'acide sulfureux et de l'hydrogène sulfuré. (de Rivero et Humboldt, *Ann. de chim. et de phys.*, t. 27, page 113.)

M. Robert a retrouvé un phénomène presque semblable.

« Après avoir traversé des coulées de lave d'une étendue considérable, nous atteignîmes les soufrières de Brisarq, qu'on pourrait aussi bien nommer solfatares. C'est à la lettre une montagne de soufre, croissant continuellement, située entre des terrains basaltiques qui portent les traces du plus grand bouleversement. Cette contrée a vraiment l'aspect de désolation. Le sol brûlant sur lequel on marche dégage beaucoup d'acide sulfureux. Les eaux chaudes qui en sortent contiennent, d'après les expériences que nous avons pu faire sur les lieux, de l'acide sulfurique libre ; du gypse se forme au moyen de tous ces éléments. » (*Voyage en Islande, Institut, 4e année*, p. 126.)

Une analyse récente d'une eau puisée par M. Jules Laveirière, dans le cratère du Popocatepetl, analyse faite par M. Lefort, indique aussi 3,64 d'acide sulfurique par litre, mais, selon toute apparence, cet acide est combiné à des bases et notamment à l'alumine.

L'acide sulfurique n'appartient pas spécialement aux émanations volcaniques ou aux sources qui s'échappent de ces terrains. On connaît dans le Haut-Canada des sources qui ont été étudiées par M. Sterry-Hunt et qui contiennent jusqu'à 4 grammes par litre d'acide sulfurique libre, plus des sulfates de fer, d'alumine, de soude, de potasse, de chaux et de magnésie. Ces sources sortent du terrain silurien supé-

rieur. Deux de ces sources s'échappent des grès de Médina qui sont la base de ce terrain ; deux autres sont situées sur les affleurements du calcaire d'Onondega. (*Compte rendu de l'Académie des sciences*, tome 40, p. 1348.)

Ainsi voilà une eau acide marquant seulement 13°,5, et sortant soit des grès, soit des calcaires. Il faut donc admettre que cet acide sulfurique arrive tout formé de l'intérieur du globe.

Il est digne de remarque que l'acide sulfureux, si abondant pendant les éruptions volcaniques, n'a pas encore été trouvé dans les eaux minérales. Mais on sait qu'il est loin d'avoir la stabilité de l'acide sulfurique.

CHAPITRE VII.

Du Tellure. — Du Chlore. — De l'Iode. — Du Chrôme. — Du Fluor. — Du Phosphore. — De l'Arsenic.

DU TELLURE.

Le tellure est un de ces éléments rares dont la nature ne s'est pas montrée prodigue et que les chimistes n'ont encore trouvés dans aucune eau minérale.

Les espèces de cette famille qui contiennent aussi de l'or, de l'argent ou du plomb, offrent toutes des gisements qui indiquent l'action des eaux. Ainsi les filons d'Offenbanya sont des filons de quartz. Il en est de même de ceux de Fatzebay que l'on exploite pour la pyrite aurifère.

La matière des filons de Nagyag, en Transylvanie, se compose essentiellement, dit M. Audibert cité par Dufrénoy, de manganèse carbonaté, de chaux carbonatée et de quartz. Le manganèse carbonaté est inséparable des minerais de tellure de Nagyag qui y sont disséminés en géodes et en veinules. L'or natif, la galène, le cuivre gris, la blende et, plus rarement, l'argent noir accompagnent les tellurures. On rencontre, en outre, dans les filons, une très-grande variété de minéraux qui y sont répartis très-irrégulièrement et ne forment que des accidents. Nous citerons le fer hématite, le plomb carbonaté, l'arsenic natif, le réalgar, le manganèse sulfuré, la baryte sulfatée, le gypse, le soufre, etc. La présence de quelques-uns de ces minéraux paraît incom-

patible avec celle des tellurures. Ainsi l'arsenic natif annonce toujours une partie stérile. (Dufrénoy, *Minéralogie*, t. 3, p. 152.)

On ne peut guère contester que tous ces minéraux aient la même origine, et si l'on répugne à regarder les tellurures, l'or, l'argent noir, etc., comme neptuniens, il est au moins tout aussi difficile de voir des actions plutoniques dans le dépôt du carbonate de manganèse, du carbonate de chaux et du quartz, dans la formation de l'hématite et du plomb carbonaté, dans la présence du gypse et du soufre. Nous avons trouvé le réalgar dans les dépôts des sources de Saint-Nectaire, la baryte dans ceux des eaux du Tambour, et M. François a rencontré cette dernière avec la galène et le fer pyriteux dans les produits des eaux de la Malou.

Le tellure carbonaté qui n'a encore été trouvé qu'au Mexique est en filons dans un calcaire compacte, et se trouve accompagné de plomb sulfuré, de plomb molybdaté, d'argent natif, d'argent chloruré et ioduré.

DU CHLORE.

Nous ne connaissons aucune eau minérale contenant du chlore en liberté. L'affinité de cet élément pour l'hydrogène, sa tendance à s'unir avec les métaux pour constituer des chlorures, font qu'il entre immédiatement en combinaison. Mais si le chlore et l'acide hydrochlorique sont si rares en liberté, leurs combinaisons sont fréquentes, et il est bien peu d'eaux minérales qui ne contiennent des chlorures; nous les mentionnerons en nous occupant de leurs bases. Nous devons seulement faire remarquer ici que le chlore est un des éléments le plus répandus.

L'acide hydrochlorique libre, aussi très-rare, existe cependant dans les eaux qui reçoivent des émanations volcaniques; nous avons cité, en parlant de l'acide sulfurique, la grande quantité d'acide hydrochlorique des eaux du Rio-Vinagre. M. Lefort a trouvé dans une eau recueillie par M. J. Laveyrière dans le cratère du volcan de Popacatepetl jusqu'à 11 grammes par litre de cet acide, et il suppose que 9 grammes étaient à l'état de liberté complète.

DE L'IODE ET DU BROME.

L'iode et le brôme n'existent ordinairement qu'en petite quantité dans les eaux minérales et presque toujours en combinaisons avec les métaux alcalins; mais à mesure que les moyens d'apprécier ces deux éléments se perfectionnent, on les découvre successivement dans des eaux où leur présence n'était pas même soupçonnée.

La présence de l'iode dans les eaux minérales a été signalée, dès l'année 1822, dans la source de Sales en Piémont, par M. L. Angelini, pharmacien à Voghera.

L'existence de ces corps dans quelques filons est une présomption de plus en faveur de leur origine thermo-neptunienne.

Le bromure d'argent indiqué par Berthier dans un minerai du Mexique, où il est associé au plomb, et désigné sous le nom d'*argent vert*, paraît être le résultat des eaux minérales qui ont formé tout le plateau calcaire de Plateros, calcaire dans lequel se trouvent les filons.

DU FLUOR.

Nous ne connaissons pas non plus le fluor à l'état de li-

berté dans les eaux, mais c'est encore un élément assez répandu et presque toujours uni au calcium.

Sur 21 espèces d'eaux minérales examinées par M. Nicklès, il en a fallu au plus 6 litres pour obtenir la réaction qui indique cet élément. (*Ann. de Chimie*, 3e série, t. 53, p. 435.)

DU PHOSPHORE.

Le phosphore est un élément si important dans la nature, que nous devons rechercher partout ses traces, et, en effet, nous les rencontrons très-souvent.

Presque toutes les eaux minérales en contiennent, mais c'est toujours l'acide phosphorique combiné à des bases.

M. Correin-Winder, dans son beau travail sur la migration du phosphore, a prouvé sa diffusion et son mode de transport.

Les terres arables peuvent avoir reçu autrefois des phosphates des eaux minérales. Il y a longtemps que M. Monheim, pharmacien très-distingué d'Aix-la-Chapelle, a signalé dans les eaux de cette localité du phosphate de soude et de lithine, ainsi que du fluorure de calcium.

La plupart des dépôts d'eau minérale renferment des phosphates, et, dans les terres qui en contiennent, l'eau chargée d'acide carbonique peut les attaquer et les dissoudre comme l'a prouvé M. Lassaigne.

DE L'ARSENIC.

A une époque où l'on regardait les eaux minérales comme de rares accidents, sans penser le moins du monde au rôle important qu'elles ont joué dans la structure du globe, on ne prévoyait pas qu'elles pussent contenir de l'arsenic.

Aujourd'hui on trouve cet élément dans un grand nombre de sources, dans leurs dépôts et dans les terres arables qui sont dans leur voisinage.

La plupart des sources de l'Auvergne en contiennent. Les analyses des eaux et de leurs dépôts ne laissent aucun doute à cet égard.

Les eaux du Mont-Dore et surtout celles de la Bourboule en renferment des quantités très-appréciables, et l'on sait maintenant que des eaux dans lesquelles on cherchait vainement un principe actif que dénotaient leurs effets, doivent à des doses très-faibles d'arsenic, des propriétés énergiques que l'on ne peut leur contester.

Des études très-intéressantes sur ce sujet ont été faites par M. Walchner dont nous reproduisons ici les principaux résultats. « Ayant observé, dit-il, que le cuivre et l'arsenic accompagnent partout le fer, je ne pouvais manquer de réussir en les cherchant dans les substances terreuses qui renferment ce dernier métal. Je commençai mes expériences par l'analyse des terres labourables de Wiesloch et Nussloch, près d'Heidelberg, qui sont assez riches en fer : j'obtins aussitôt des preuves incontestables de la présence du cuivre et de l'arsenic dans ces terres fertiles en blé et en vin. L'action délétère de l'arsenic est tout à fait suspendue par sa combinaison intime avec le fer ; c'est dans l'état d'acide arsénique qu'il forme un sous-arséniate de peroxyde de fer, qui est complétement insoluble dans l'eau. Ensuite les analyses d'un grand nombre d'argiles, de limons, de marnes, et, parmi ces dernières, de marnes du Loss, de la vallée du Rhin, de roches solides argileuses, plus ou moins ferrifères, m'ont donné tout autant de preuves que les deux métaux nommés se trouvent mélangés partout avec le fer. Il est

donc évident qu'ils sont aussi communs et aussi généralement répandus sur toute la surface du globe que ce dernier. » (Walchner, *Compte-Rendu de l'Académie des sciences*, t. 23, p. 613-614.)

Le résumé que nous venons de donner de cet important travail, nous démontre toute la variété de produits que l'on doit attendre encore des recherches des chimistes dans l'analyse des eaux minérales.

On arrivera aussi à doser sûrement les proportions de certains corps que l'on a pu seulement entrevoir, parce que les analyses ont eu lieu sur de trop petites quantités d'eaux, et que les produits ont échappé pendant l'évaporation ou se sont perdus dans les eaux mères.

On a pu cependant déjà apprécier les proportions d'arsenic dans plusieurs sources de l'Auvergne. Nous reviendrons sur ce sujet dans notre ouvrage sur les eaux minérales du massif central de la France.

Si certaines eaux minérales de cette contrée contiennent d'assez grandes quantités d'arsenic, il existe en Afrique une source dans laquelle l'analyse en signale une bien plus forte proportion. C'est la source de Bou-Chater, l'ancienne Utique, dans la régence de Tunis. M. Guyon cite l'analyse de cette eau, faite à Alger dans le laboratoire de l'administration des mines. Chaque litre contient $0^{g},9689$ de sels sur lesquels existe $0^{g},1684$ d'arseniates de potasse et de soude, ce qui fait plus que le sixième du poids de ces sels.

« Ce seraient donc, dit M. Guyon, de toutes les eaux connues jusqu'à ce jour, celles qui contiendraient le plus d'arsenic. Cette remarque, ajoute-t-il, permettrait peut-être d'expliquer les accidents que rapporte Appien comme étant arrivés aux soldats de l'armée de Curion, lieutenant de Cé-

sar, entre Utique et les bords du Bagrada, à l'est de cette ville. Appien dit que les habitants du pays ayant empoisonné leurs eaux, toute l'armée tomba malade. Tous ceux qui burent de ces eaux, dit-il, eurent la vue trouble, comme si un nuage se fût répandu sur leurs yeux. Le besoin du sommeil ajoutait à ce premier accident. A l'assoupissement se joignirent des vomissements continuels avec des convulsions dans tout le corps, ce qui mit Curion dans la nécessité de décamper et de ramener son armée du côté d'Utique. »

Pour attribuer aux eaux de Bou-Chater les accidents dont parle Appien, il faudrait supposer que leur composition a été modifiée, car elles paraissent aujourd'hui tout à fait inoffensives. Dans une autre Notice, publiée dans la *Revue des Sociétés savantes* (le 12 février 1864), M. le docteur Guyon, après avoir rappelé l'analyse de ces eaux si arsenicales, rapporte qu'une vieille tortue (*Emys leprosa*) vit dans la source depuis un temps immémorial. La tortue est en bonne santé, et l'arsenic semble lui avoir donné un brevet de longévité ainsi qu'au dattier au pied duquel l'eau s'échappe et dont elle arrose certainement les racines. Les bestiaux viennent boire dans le ruisseau formé par les eaux de cette source. « Les habitants, dit M. Guyon, en usent en boisson après les avoir laissé refroidir ; et nous en avons ainsi usé nous-même avec nos compagnons de voyage à nos deux visites à la source. A la dernière, le 19 décembre 1856, leur température était de 40°. »

Nous ne verrions rien d'étonnant à ce que depuis cette époque éloignée ces eaux eussent changé de nature et perdu de l'arsenic; mais il nous semble que les quantités indiquées par M. Guyon et par M. Ville, sont suffisantes pour exercer une action puissante sur l'économie animale.

M. Lemonier, qui a constaté la présence de l'arsenic dans le dépôt ferrugineux des eaux de Bagnères-de-Bigorre, suppose que ce métal s'y trouve à l'état d'arseniate de fer. (*Comptes-rendus de l'Académie des sciences*, t. XXIV, p. 629.)

L'arsenic est, comme on le voit, un des éléments le plus répandus. Outre sa présence actuelle, dans un grand nombre d'eaux minérales ferrugineuses, il existe encore dans des dépôts plus anciens.

M. Daubrée a fait remarquer sa présence et son association au bitume dans le calcaire de Lobsann. Pour nous, il est évident que ce terrain tertiaire a été produit par des eaux minérales, et ce qui le prouverait encore, c'est l'observation rapportée par M. Daubrée, que le fer hydroxydé de Kuhbrüke, à quatre kilomètres de Lobsann, contient tellement d'arsenic, que l'on a dû renoncer à le fondre. (*Ann. des Mines*, 5e série, t. XIV, p. 474.)

DU SULFURE D'ARSENIC.

La présence du sulfure rouge d'arsenic, colorant les quartz résinites de Saint-Nectaire, nous prouve que ce minéral peut dater d'une époque très-moderne. Mais nous pensons que les mêmes causes ont pu le produire autrefois, soit dans les mêmes conditions, soit dans des circonstances différentes.

Le réalgar ou sulfure rouge d'arsenic, qui existe dans la dolomie blanche du Saint-Gothard, est certainement contemporaine de cette dolomie, très-probablement déposée par des eaux minérales.

CHAPITRE VIII.

De l'Acide borique.

—

L'acide borique est un de ces corps dont on a cru la présence limitée à quelques émanations plutoniques, et que l'on a reconnu maintenant dans des conditions très-diverses.

Malgré sa fixité, il est facilement entraîné par les vapeurs aqueuses. On le trouve dans le cône de Vulcano où il tapisse les parois d'une crevasse, et ses couches atteignent en quelques endroits près d'un décimètre d'épaisseur. Cette couche est déposée par des sources chaudes.

L'acide borique des lagonis a la même origine, mais sa production n'est pas régulière ; car Hoëfer, chimiste toscan, trouva qu'un litre d'eau recueillie en novembre 1777 dans un des lagonis de Monte Rotundo, contenait environ trois grammes et demi d'acide borique, tandis qu'au mois de mai suivant, la même quantité d'eau en contenait sept grammes.

Dans ces derniers temps, M. Filhol a découvert l'existence de l'acide borique dans les eaux sulfureuses de Luchon, Barèges, Cauterets, Bonnes et Labanère.

« J'ai constaté aussi, dit-il, l'existence de cet acide dans les eaux de Vichy, où je crois qu'il est plus abondant que dans les eaux sulfureuses thermales des Pyrénées ; ceci prouve que la présence de l'acide borique dans les eaux n'est nullement liée à leur sortie d'un sol granitique.

» J'ai trouvé des traces d'acide borique dans des feldspaths provenant des Pyrénées ; j'en ai trouvé aussi dans les pegmatites provenant du département de l'Aveyron.

» Enfin, et ce n'est pas le moins curieux des résultats que j'ai obtenus, j'ai découvert l'existence de l'acide borique dans plusieurs potasses du commerce et dans du carbonate de potasse que j'avais préparé moi-même en lessivant de la cendre ordinaire et faisant évaporer la lessive à siccité. » (*Compte rendu des séances de l'Ac. des sc.*, t. 36, p. 327).

Voilà donc l'acide borique se produisant encore sans que l'on sache à quelle époque a commencé sa production. Les faits positifs, les conjectures même, manquent pour déterminer cette époque. Ce que l'on sait, c'est que les *soffioni* de la Toscane changent à chaque instant de position et tendent à s'élever vers le sommet de la montagne. Ceux de Monte Cerboli se dirigent vers ceux de Castelnuovo, et ces derniers prennent la direction opposée, de sorte qu'ils semblent tendre réciproquement à se rapprocher et à franchir la montagne qui les sépare. Il y a donc encore ici changement et instabilité dans ce phénomène. Comme on doit s'y attendre, on a donné la théorie des émissions d'acide borique. Une explication présentée par Guerrazzi à l'académie agrario économique de Florence, consistait à attribuer cet acide au terrain traversé par les *soffioni*. Cet acide, disait-il, peut se trouver dans le sol uni à des bases terreuses et en être séparé par des réactions chimiques particulières. Il fondait cette opinion sur ce que l'acide borique n'est pas le seul produit des lagonis. On l'y trouve mêlé à quelques pyrites, à du soufre, à des sulfates et à de l'acide sulfhydrique gazeux. Une théorie chimique assez compliquée terminait cette explication.

On voit que c'est toujours le même principe; faire puiser les produits qui sortent du globe dans les terrains plus ou moins superficiels; en un mot, prendre l'effet pour la cause.

Il est juste de dire que M. Larderel, qui s'est beaucoup occupé des lagonis, soupçonne que l'acide borique peut se former continuellement dans le sein de la terre par la combustion continue du bore. Ce serait une combustion analogue à celle du carbone qui produit l'acide carbonique et la découverte de l'acide borique dans un grand nombre de sources minérales, vient tout à fait à l'appui de la simplicité de cette théorie.

Le bore combiné à l'oxygène ou l'acide borique uni à des bases, est donc un élément très-répandu dans la nature.

Les eaux sulfureuses des Pyrénées renferment toutes, selon M. Filhol, dont les analyses ont une grande autorité, des traces d'iode et de borate de soude.

L'association de la boracite au sel gemme indiquée par M. Karsten à Stassfurth, est un fait qui vient à l'appui de la production de ces sels par les eaux minérales.

Nous pouvons encore citer parmi les minéraux qui contiennent de l'acide borique, la tinkalzite, minéral que l'on extrait en quantité considérable des couches de nitrate de soude situés dans le Pérou méridional.

« Ce minéral, dit M. Phipson, se montre sous forme de tubercules qui varient en grosseur depuis celle d'une noisette à celle d'une pomme de terre. Ils sont assez tendres; en les cassant on voit qu'ils sont formés à l'intérieur par des aiguilles cristallines, satinées et fort luisantes. Ils renferment souvent de petits cristaux de gypse; le tout est imprégné de sel marin; les acides dissolvent tout le minéral en laissant

un petit résidu de sable fin contenant des débris d'animalcules, etc.

» La présence de ces matières, dit M. Phipson, fait penser que ce minéral a été déposé par des sources minérales ; et le fait que le biborate sodique contient ses dix équivalents d'eau, joint à celui de la présence d'animalcules et de diatomées montre que la température de ces eaux thermales fut au-dessous de + 55°. » (*Comptes rendus de l'Acad. des sciences*, t. 52, p. 406).

De Buch a signalé au milieu des sables du Holstein la colline de Séjebert qui s'élève à 70 mètres au-dessus de la plaine et entièrement formée de gypse avec un peu de magnésie boratée. Or, comment concevoir la formation d'une telle butte, si l'on n'admet pas une source minérale pour la déposer. S'est-elle formée dans un bassin par le dépôt des eaux? ou bien représente-t-elle l'ancien conduit de la source qui aurait solidifié le terrain environnant et l'aurait protégé contre a destruction?

Les dégagements d'acide borique, les lacs alcalins et la présence d'une grande quantité de sources thermales dans la Californie indiquent que les grands phénomènes qui ont fait de cette contrée un vaste dépôt métallifère ne sont pas encore complétement éteints.

Parmi les sources chaudes, les lagonis qui produisent l'acide borique sont des plus remarquables et viennent se placer près des salses et des geysers qui ne sont eux-mêmes que des émanations volcaniques dans lesquelles l'eau intervient en très-grande quantité. Dans les recherches que M. Payen a faites sur les soffioni de la Toscane, il a trouvé que les gaz qui s'échappaient de ces ouvertures étaient composés d'acide carbonique (plus de moitié), d'azote (un

tiers) et d'une petite quantité d'oxygène et d'acide sulfhydrique.

« Les produits condensables, dit M. Payen, et les substances charriées par les courants de vapeur sont variables ; ils comprennent généralement de l'eau, de l'argile, des sulfates de chaux, d'ammoniaque, d'alumine et de fer, de l'acide chlorhydrique, des matières organiques à odeur de marée, enfin peu ou point d'acide borique ; ils déposent du soufre dans toutes les étroites fissures et les corps poreux qu'ils traversent. »

La température prise par M. Payen dans les bouches mêmes des soffioni n'a varié que de 97 à 100°.

Mais tandis que la cause du courant de gaz et de l'élévation de la température paraît constante depuis de longues années, la production ou du moins l'arrivée de l'acide borique à la superficie du sol paraît subordonnée à l'introduction de l'eau dans les soffioni.

Ainsi l'eau qui arrive sur ces bouches de vapeurs descend absorbée à des profondeurs inconnues et remonte avec l'acide borique qui n'est pas amené sans elle dans les dégagements de vapeurs. (*Ann. de chimie et de physique*, 5e série, t. 1, p. 249.)

Nous ne discuterons pas ici si l'acide borique provient de la décomposition du sulfure de bore, car nous admettons que le bore, comme le soufre et tous les corps simples, existe dans l'intérieur du globe, et que toutes les réactions ont lieu par suite de l'introduction de l'air et de l'eau à des profondeurs diverses.

CHAPITRE IX.

De la Silice.

La silice joue un rôle considérable dans la composition de l'écorce du globe. Elle existe dans tous les terrains, aussi bien dans ceux qui sont sédimentaires que dans ceux d'origine éruptive. Nous la voyons entrer dans la composition des roches plutoniques, faire partie de toutes les combinaisons et souvent même se trouver en excès et rester libre, amorphe ou cristallisée au milieu de ces roches.

Dans les terrains sédimentaires, elle se sépare de la chaux carbonatée et se dépose ou se concrétionne après un départ plus ou moins complet. Elle entre dans la composition du feldspath et du pyroxène des terrains volcaniques, mais elle y devient assez rare à l'état de pureté. Il semble que la production de la silice ait lentement et successivement diminué jusqu'à l'époque actuelle.

Il nous reste pourtant encore quelques produits siliceux dans les eaux minérales contemporaines.

Nous ne pouvons douter que l'Auvergne, à l'époque des émissions trachytiques et basaltiques, n'ait présenté aussi des sources siliceuses très-abondantes. C'est d'ailleurs un genre d'émissions qui a lieu encore sur plusieurs parties de la terre, aux geysers d'Islande, aux îles Açores et surtout au Mexique où M. de Saussure a indiqué dans le voisinage du volcan éteint de San-Andrès un véritable ruisseau d'eau

bouillante et un torrent de vapeur, le tout chargé de silice à tel point que toutes les pierres en sont formées, couvertes, ou au moins cimentées. Les sources siliceuses, dit M. de Saussure, m'ont paru avoir jailli presque partout où se rencontrent les trachytes, et les dépôts de silice hydratée se voient dans tous les trachytes cristallins, soit en amas remplissant les cavités de la roche, soit en strates dont l'épaisseur et l'étendue dépassent tout ce que l'on connaît jusqu'à ce jour.» (*Bulletin de la Soc. géol.*, 2e série, t. 15, p. 83.)

On observe aux Açores et notamment à l'île St-Michel, les mêmes transformations siliceuses qui ont eu lieu en Auvergne à St-Nectaire; des fragments de bois et une couche de plus d'un mètre d'épaisseur, entièrement composée de roseaux très-communs dans l'île, ont été complétement minéralisés.

C'est en effet dans cette île que se trouve le plus bel exemple de ces quartz contemporains. Le docteur Webster, dans la description qu'il donne des sources chaudes de Furnas, rapporte que leur température varie de 23° à 97° centigrades, et qu'elles déposent des quantités considérables d'argile et de matière siliceuse qui enveloppent et font plus ou moins passer à l'état fossile, les herbes, les feuilles et les autres substances végétales qui se trouvent en contact avec elles. On peut observer ces végétaux sous tous les états de pétrification. Des Fougères actuellement vivantes peuvent être changées en silice en peu de temps. Ces eaux présentent le même phénomène que les eaux du Mont-Dore qui, à l'époque où elles formaient des résinites, silicifiaient complétement les bois, comme le prouve l'échantillon travaillé de main d'homme qui existe dans notre collection.

Les dépôts siliceux de l'île St-Michel sont à la fois abon-

dants et variés. Ils sont disposés en petits lits minces et superposés. Ailleurs ils offrent des cavités souvent tapissées de petits cristaux de quartz très-brillants et où l'on trouve aussi des stalactites siliceuses. Des masses compactes de ces dépôts siliceux ayant été brisées par différentes causes, les fragments ont été cimentés de nouveau par la silice, et forment une brèche d'un aspect fort agréable qui rappelle certaines parties bréchiformes de nos filons de quartz de l'Auvergne. Les couleurs de l'argile et des substances siliceuses sont très-variées et mêmes très-vives. Le rouge, le blanc, le jaune, le pourpre et le brun sont les nuances dominantes. Elles indiquent, comme en Auvergne, l'association du fer et de la silice. Le soufre existe en abondance dans ces sources qui sortent d'un terrain de laves et de trachyte. (*Edimburg philosoph. journal*, t. VI.)

La masse de silice accumulée par les geysers est considérable. « On pourrait, dit M. Robert, considérer ce dépôt comme une véritable formation propre à l'Islande, à cause du rôle important qu'elle y joue, et que pour cette raison il propose d'appeler *formation geyserienne*. Il a deux lieues de longueur sur un quart de lieue de largeur, et sa direction est nord-sud. Il se présente généralement sous forme de collines douces, qui atteignent jusqu'à cent pieds de hauteur, depuis la base du grand geyser jusqu'au pied des montagnes qui entourent ce bassin. Ce terrain est percé d'une foule de trous, situés quelquefois au sommet de petits cônes en concrétions siliceuses altérées, et par où s'échappe de la vapeur d'eau bouillante ou cette eau elle-même. » (*Bull. de la Soc. géol.*, t. 11, p. 339.)

M. E. Robert ne s'est pas contenté de nous donner une description exacte des produits actuels des geysers; il a

voulu reconnaître et décrire leurs anciens dépôts et nous montrer l'action si intéressante des eaux thermales dans la formation de l'écorce de la terre.

« Les geysers sont bornés à l'ouest par ces collines, appuyées elles-mêmes contre une montagne fortement redressée et qui porte aussi des traces anciennes de l'action des eaux thermales.

» Au bord de la rivière Haukadal, et à l'entrée d'un ravin qui contourne le grand geyser à l'ouest, on remarque d'abord à gauche une concrétion siliceuse blanchâtre, friable, avec empreintes de Graminées, de Prêles et de Cypéracées, plantes qui vivent encore près de là sur les bords de la rivière. Cette roche est pénétrée quelquefois de sels de soude, probablement de sulfate en efflorescence.

» Au-dessous et au-dessus d'une concrétion siliceuse en chou-fleur proprement dite, en remontant la rivière, on remarque une concrétion siliceuse, calcédonieuse, plus ou moins feuilletée, ayant de l'analogie avec nos meulières. On trouve aussi dans les mêmes localités, mais non en place, une concrétion siliceuse, fibreuse, demi-dure, offrant une ressemblance assez grande avec le silex nectique de Saint-Ouen. »

A l'époque où écrivait M. Robert (1840), on n'osait pas attribuer aux eaux thermales le rôle important qu'on ne leur conteste plus aujourd'hui. Aussi le savant voyageur hésite à affirmer que ces meulières soient dues à la silice des anciens geysers. Toutefois, il ne peut s'empêcher de faire remarquer que ce silex meulier « repose, comme la meulière de nos terrains tertiaires, précisément sur une argile bolaire de diverses couleurs, ordinairement rougeâtre, gris-rougeâtre, jaune-blanchâtre, bleu tendre et lie de vin; en

sorte qu'on serait tenté de croire, par suite de ces rapprochements, qu'elles ont la même origine, c'est-à-dire que cette meulière calcédonieuse et celles des environs de Paris, auraient été primitivement à l'état de gelée, sans que pour cela il soit nécessaire de faire intervenir une haute température. » M. Robert pense même que la température ordinaire est suffisante. Il ajoute que cette argile est très-pyritifère.

Cette silice des geysers présente toutes les formes que nous connaissons à la silice dans les terrains plus anciens: on y voit la tendance de cette matière à s'isoler en rognons à couches concentriques et emboîtées comme les orbicules siliceux des amygdaloïdes.

Une autre colline analogue a montré à M. Robert de nombreuses pétrifications siliceuses. « Il est évident, dit-il, qu'il y a eu jadis un petit bois de Bouleaux dans cet endroit, que l'accroissement seul de la silice a fait disparaître; aussi trouve-t-on une grande quantité de tiges pétrifiées parfaitement reconnaissables. La plupart sont entièrement converties en quartz calcédonieux, semblables à une foule de nos bois fossiles passés à l'état de silice, tels que les bois de palmiers agathisés. » (*Bull. de la Soc. géol.*, t. 11, p. 341.)

De véritables calcédoines se forment encore en Islande, comme elles se sont formées en Auvergne à l'époque basaltique. M. Robert en rapporte un exemple. « Les eaux thermales de Langaness, près de Reykiavik, dit-il, ont une température au moins égale à celle de l'eau bouillante. Les sources sont intermittentes comme les geysers, et déposent aussi la silice sous forme gélatineuse. Immédiatement au sortir de l'eau elle durcit, et, de pâle qu'elle était, prend une teinte bleuâtre qu'on retrouve dans les agathes,

ce qui pourrait venir à l'appui de la théorie émise par A. Brongniart, pour expliquer la formation de ces pierres par voie aqueuse. » (*Bull. de la Soc. géol.*, t. 7, p. 6.)

Certaines parties des dépôts siliceux des geysers présentent de beaux reflets opalins bleus ou verts ; mais, selon M. Damour, ils ne conservent cette propriété qu'autant qu'ils sont maintenus constamment humides.

Des concrétions siliceuses analogues à celles des geysers ont été aussi recueillies dans la Nouvelle-Zélande par M. Mallet. Elles sont produites par des sources très-chaudes qui sortent des terrains volcaniques de Tanpo. « Cette substance, dit M. Mallet, se trouve en concrétion pierreuse, quoique assez compacte et tenace ; elle est opaque, d'un blanc légèrement jaunâtre et intermédiaire pour la dureté entre le feldspath et le quartz. L'analyse doit la faire considérer comme un quartz résinite, mais on y trouve en outre un peu d'alumine, un peu de chlorure de sodium, de peroxyde de fer et des traces de chaux.

Les études de M. Jules Bouis, sur les eaux sulfureuses des Pyrénées, tendent aussi à faire considérer le quartz comme un produit des eaux. M. Bouis a cité des stalactites siliceuses qui contenaient de petits cristaux de quartz hyalin. Il a indiqué à Olette de l'eau à 78°, sortant d'une roche granitique et formant encore de nombreuses concrétions de silice gélatineuse.

Les travaux de recherches à Amélie-les-Bains ont montré à M. Bouis des fissures de la roche primitive garnies d'une croûte cristallisée de plusieurs centimètres d'épaisseur. « Ces dépôts sont blancs, très-friables, se détachant par feuillets micacés, sur lesquels on aperçoit de petits cristaux de fer sulfuré. Ils contiennent 30 pour cent de carbonate de

chaux ; le reste est formé d'hydro-silicate d'alumine et de chaux et de cristaux aplatis, gris, opaques, durs, présentant des prismes obliques aigus comme l'axinite avec laquelle ils ont une grande ressemblance. »

« A mesure que la température des eaux thermales diminue, dit M. Bouis, la proportion de silice devient plus faible et les dépôts n'en contiennent presque p us. Ainsi Molitg, dont la température des eaux est de 35 degrés environ, a fourni des concrétions et des cristaux magnifiques de carbonate de chaux très-phosphorescent, avec traces de silicate et de sulfate de chaux. » (*Comptes-rendus de l'Académie des sciences*, t. 46, p. 227.)

Les agathes si bien concrétionnées, les calcédoines et les beaux cristaux de quartz que l'on rencontre dans certaines roches volcaniques ne peuvent pas avoir été formées par fusion. D'ailleurs, on trouve des agathes et des calcédoines dans des terrains tout à fait sédimentaires et évidemment déposés par les eaux. Il en est de même des opales, des mésotypes que nous avons signalées au puy de la Piquette, en Auvergne, dans des tubes de calcaires à phryganes.

Les quartz résinites et les véritables opales des trachytes et des pépérites proviennent de sources auxquelles les éruptions volcaniques donnaient issue. N'avons-nous pas encore en Auvergne, dans les wakites de Pont-du-Château, des calcédoines accompagnées de bitume dont les sources sont à peines taries?

Il est difficile d'admettre, comme le fait remarquer M. E. de Beaumont, que des cristaux de quartz contenant des gouttelettes formées de deux liquides huileux dont l'un est volatil à la température de 27°, aient cristallisé dans un bain de quartz en fusion. Ne serait-il pas plus naturel d'y

voir le résultat d'une source dans laquelle la silice et le naphte seraient associés comme cela se présente encore de nos jours.

M. Zirkel a reconnu que toutes les variétés de quartz entrant dans la composition des granites, des porphyres et des trachytes, montrent d'innombrables quantités de cavités remplies de liquide et tellement minimes que les plus forts grossissements suffisent à peine pour les faire distinguer. (*Institut*, n° 1547.)

M. Scorby ajoute qu'il existe des chlorures alcalins dans les cavités microscopiques des quartz qui composent les roches granitiques.

On trouve aussi dans l'île d'Elbe, près de Porto-Ferraio, au pied de la montagne, à l'endroit nommé Lamaja, dans la marne subordonnée au macigno, de nombreux cristaux de quartz qui renferment des gouttes d'eau.

Récemment M. Brewster est revenu sur ces cavités au sujet du diamant et de la topaze (*Transactions de la Soc. géol. de Londres*, vol. XXIII). Il a reconnu dans ces minéraux des cavités nombreuses, et il a conclu de leur forme et de leur arrangement à la fusion ignée de ces deux espèces. « Nous ne pouvons nullement nous figurer, dit-il, par quelle raison une série de cavités a pu s'arranger tantôt en lignes droites et parallèles, tantôt en courbes concentriques, tantôt rayonnant d'un centre ; ou comment ces cavités réunies en couches ont pu traverser la topaze dans toutes les directions, en formant des surfaces à simple et à double courbure ; il est tout à fait certain qu'une force élastique émanant d'une cavité de pression, ne pourrait avoir comprimé la topaze qui l'entourait si ce minéral ne s'était pas trouvé dans un état de mollesse et de plasticité ou à l'état de fusion. »

Malgré les conclusions du savant Anglais, nous ne pouvons pas admettre que des cristaux quelconques de quartz, de diamant ou de topaze aient été à l'état de mollesse et de plasticité ; le propre de la cristallisation est de faire passer immédiatement les corps de l'état gazeux ou liquide à l'état solide, en donnant à chaque molécule une forme particulière, mais déterminée qui ne saurait être acquise dans l'état de mollesse. Ces séries de cavités comprimées sont donc tout aussi difficiles à expliquer pendant une cristallisation par fusion que pendant une cristallisation aqueuse.

Nous voyons d'ailleurs la glace en masses ou en couches minces, en grêlons ou en globules de gelée blanche offrir une quantité prodigieuse de bulles de toutes dimensions, souvent microscopiques, situées dans toutes les directions et provenant directement de la condensation des vapeurs nébuleuses ou de la cristallisation de l'eau liquide.

Les énormes et limpides cristaux de Madagascar offrent souvent un grand nombre de ces cavités. On ne voit pas du reste pourquoi on attribuerait le quartz hyalin à une action plutonique, quand nous avons dans les agathes la preuve de quartz déposé par l'eau. Les silex et le quartz nectique sont encore des produits de l'eau. Ce sont des centres d'attraction autour desquels la silice des anciennes sources s'est groupée et a formé des masses ou des rognons. Il paraîtrait seulement que dans les silex nectiques la silice n'a pas pu se réunir en masses aussi compactes et qu'elle était gênée par du carbonate de chaux que les eaux minérales amenaient en même temps et qui s'est interposé. Plus tard, le carbonate de chaux a été dissous, et la silice est restée en masses légères.

L'hyalite elle-même que nous rencontrons en Auvergne,

semblable à de la glace déposée sur des scories, n'est probablement pas un produit du feu. M. Robert a trouvé cette même hyalite pure et transparente incrustant une roche siliceuse voisine des geysers d'Islande et tapissant l'intérieur de tiges creuses de bouleaux passées à l'état d'agathe. « Il est probable, dit-il, que cette opale, avant de se déposer, a été préalablement dans une dissolution complète, comme au reste l'ont été les concrétions siliceuses des bassins des geysers ; mais celle-ci aura été contenue dans des eaux à la température ordinaire, plutôt froides que chaudes. » (*Bull. de la Soc. géol.*, t. 11, p. 352).

Nous trouvons en Auvergne l'hyalite concrétionnée sur des bombes volcaniques, et certainement ce n'est pas pendant que ces bombes étaient lancées dans les airs qu'elles pouvaient recevoir des émanations siliceuses, mais après coup, quand elles étaient refroidies et entassées avec les autres produits volcaniques.

Tous les corps de l'univers ont une certaine tendance vers la forme globuleuse, surtout s'ils ne sont pas à l'état de pureté parfaite ; mais la silice présente plus que toute autre substance cette agglomération sphéroïdale. Elle forme des nodules, des rognons, des géodes, lorsque déposée par des eaux minérales elle a la possibilité de se séparer des magmas où elle se trouve englobée. Si au contraire elle est en grandes masses, ses surfaces sont ondulées, arrondies, comme on le voit dans les grès de Fontainebleau, etc.

Les géodes siliceuses viennent donc à l'appui de l'origine neptunienne des cristaux de quartz. D'Hombres Firmaz a donné de curieux détails sur celles d'Alzon (Gard). Ce sont des boules de silice qui, par suite d'affinité élective, se sont séparées des marnes irisées. Leur intérieur s'est rempli de

cristaux hyalins; mais comme le fait remarquer d'Hombres Firmaz, avant que le quartz hyalin passât de l'état liquide à l'état solide, sa solution pouvait contenir d'autres substances minérales. Aussi l'on trouve dans ces géodes, du fer hydroxydé, du fer carbonaté, de la chaux carbonatée ferromanganèsifère qui est restée en dissolution pendant que le quartz cristallisait déjà. Il faut bien faire intervenir pendant le dépôt de ces marnes irisées, des eaux contenant les principes qui se sont séparés des marnes pour former ces géodes qui appartiennent à la même époque.

D'Hombres Firmaz a décrit aussi de curieuses géodes dans lesquelles on trouve encore une partie de l'eau minérale dans laquelle elles se sont formées. Il les a rencontrées à St-Julien, près d'Alais, dans une argile ou au milieu de masses ferrugineuses exploitées. Ce terrain appartient à l'oolithe inférieure ou moyenne. Les masses géodiques varient en grosseur de $0^m,10$ à $0^m,15$ et même jusqu'à $0^m,88$.

« Elles ne sont pas tapissées de brillants cristaux comme celles d'Alzon, mais quelques-unes contiennent de l'eau depuis leur formation. On l'entend clapoter en les secouant et on peut la recueillir en les cassant sur une jatte.

» Cette eau, trouble d'abord, dépose bientôt un peu de terre calcaire, mêlée d'argile, d'ocre et de quelques parties de sable siliceux; elle devient limpide et paraît pure, mais le goût et les réactifs y décèlent du sulfate de fer.

» Les particules terreuses reconnues dans ces géodes n'ont pu toujours se cristalliser, soit à cause de leur mélange, soit à cause de leur minime quantité, mais d'Hombres Firmaz a vu des échantillons avec de petits rhombes de chaux carbonatée, et d'autres renfermant des lamelles de chaux sulfatée bien apparentes. On en a recueilli dont l'enveloppe de

fer hydraté est doublée intérieurement d'une couche épaisse de fer sulfuré et leur centre est vide ; tandis que d'autres de ces rognons, avec la même croûte noirâtre bien distincte, sont remplis entièrement de fer sulfuré d'un aspect métallique lorsqu'on les casse, mais qui s'effleurit lorsque l'humidité le pénètre. » (*Bull. de la Soc. géol.*, 2me série, t. 8, p. 175).

Nous avons déjà fait remarquer que plusieurs des grands filons de quartz blanc qui coupent les roches primitives de l'Auvergne, paraissent avoir été formés par des eaux très-fortement siliceuses. Nous avons vu dans les produits volcaniques des émanations de silice pure entraînées par des vapeurs d'eau se déposer en concrétions transparentes sur les laves et les scories et donner naissance à ces perles d'hyalite ou de fiorite qui représentent le quartz le plus pur. Nous avons cité au Puy de la Poix, et dans les wakites de Pont-du-Château, d'admirables cristaux de quartz étalés en élégantes rosaces et abrités sous une couche bleuâtre et demi-transparente de jolie calcédoine. Ailleurs, cette dernière matière se dépose seule, isolée sur le bitume en gouttes semblables à de la cire fondue. On ne peut nier ici l'intervention des sources, puisque l'eau du Puy de la Poix amène encore de la silice en dissolution et du bitume en suspension.

Lorsque des cristaux de quartz d'une extrême pureté se trouvent dans les cavités du sulfate de baryte en filons, dans le département de la Haute-Loire, il faut encore attribuer à des eaux minérales et le quartz et la baryte.

Des filons de quartz, semblables à ceux qui sont fréquents en Auvergne, se montrent aussi sur différents points du massif central de la France. Ils indiquent souvent des points d'émissions siliceuses qu'il est bien difficile de rapporter à

des phénomènes purement plutoniques. L'action des eaux minérales y paraît clairement indiquée, car le quartz, tout en formant sur le lieu même de sa sortie un cône, une crête ou une éminence quelconque, s'est épanché tout autour de ce point central et a presque toujours cimenté des grès, ou bien a relié les grains désagrégés des surfaces granitiques pour en faire des arkoses siliceuses.

Rozet a fait dans les montagnes qui séparent la Loire et le Rhône de la Saône des observations qui viennent à l'appui de cette manière de voir.

« Ces terrains primitifs et de transition sont traversés de bas en haut par de nombreux et puissants filons de quartz blanc, semi-vitreux et quelquefois calcédonieux, que l'on voit souvent se ramifier dans les roches en une infinité de petites veines. Ce quartz renferme, en plus ou moins grande abondance, de la barytine, du spath fluor et des métaux, cuivre, plomb et fer, et, plus rarement, de grandes lames de mica argentin, des tourmalines et des émeraudes. »

« La roche de Glenne, dans le Morvan, qui est l'affleurement d'un de ces filons, forme un mur de 15 mètres de haut sur plus de 40 mètres d'épaisseur. »

« Rozet cite encore le dôme quartzeux de Chiseuil à deux lieues de Bourbon-Lancy. C'est une montagne à deux sommets, ayant 1,500 mètres de long sur 700 à 900 de large. La surface de cette montagne est percée d'un grand nombre de cavités plus ou moins considérables, fort irrégulières et tapissées d'aspérités assez semblables, en un mot, à celles que présentent les scories des hauts fourneaux et les courants de laves refroidies. Les aspérités de ces cavités sont produites par du fer hydraté, souvent irisé, mamelonné et formant même des stalactites. Le fer oxydé

existe dans cette montagne en aussi grande quantité que le quartz. »

Rozet signale de plus comme exemple d'éruption quartzeuse la colline de Saint-Priest dans le bassin houiller de Saint-Etienne et décrite par Dufrénoy. « C'est, dit-il, un véritable cône de quartz qui s'est élevé pendant la formation du terrain houiller. Vers le milieu du bassin, le grès passe insensiblement à un quartz silex noir et gris clair, offrant des cavités assez semblables à celles des meulières des environs de Paris, tapissées de quartz hyalin et de barytine. Le sommet de la colline est de *quartz pur*, offrant des empreintes de tiges de Calamites et de feuilles de Fougères analogues à celles du terrain houiller, ce qui donne exactement l'époque de la consolidation du quartz. » (*Bulletin de la Soc. géol.*, t. 9, p. 202.)

Nous ne pouvons voir dans ces filons ou amas de quartz et de fer oxydé, souvent hydraté, autre chose que le dépôt d'anciennes sources siliceuses.

En effet, la silice se trouve partout dans les dépôts neptuniens. Tantôt elle est sortie de la terre en même temps que le calcaire, tantôt elle s'y est infiltrée après coup. Elle y forme des rognons, des concrétions ou des amas distincts, ou bien elle s'y mélange et forme des calcaires siliceux ou des meulières. Dufrénoy, dans un travail sur le calcaire jurassique à l'est de Poitiers, cite l'abondance de la silice dans l'oolithe inférieure des départements de l'Indre et du Cher. « Comme cette oolithe, dit-il, est séparée du granite par une épaisseur considérable de lias, il est difficile d'admettre que la silice a été introduite postérieurement. Elle a sans doute été en dissolution dans les mêmes eaux qui ont déposé les couches d'oolithe, de même que cela a eu lieu

pour les meulières de la Ferté, ou les parties calcaires et siliceuses offrent un passage constant. Du reste, la présence de la silice dans les eaux sédimentaires est un fait dont on retrouve de jour en jour des exemples plus fréquents. M. Sauvage indique, dans sa *Géologie des Ardennes*, que l'argile d'Oxford contient à Omont jusqu'à 56 pour cent de silice soluble dans la potasse caustique, et que le grès vert de Vouziers en renferme une égale proportion. « (*Bulletin de la Soc. géol.*, t. 14, p. 309.)

Dans ce même travail, Dufrénoy cite encore les meulières de l'oolithe inférieure dont les carrières sont dans les bois de Meillant. « On y voit de grands bancs de silex variant du compacte au silex carié. Ces bancs ne sont pas continus, mais souvent interrompus par du sable sans adhérence et quelquefois par des grès calcaires. Quand la meulière devient ferrugineuse, elle passe à un silex par fragments et ne fournit pas de meules. »

Dufrénoy émet l'opinion que les couches puissantes de meulières de Meillant et de la Ferté, ainsi que les couches de silex que l'on observe dans quelques parties des terrains jurassiques, « sont des produits neptuniens dus à des causes analogues à celles qui ont donné naissance au calcaire. »

On a considéré la carie des roches et surtout celle du quartz, ou leur division en cellules formées de minces parois, comme des preuves de l'action du feu ; mais n'avons-nous pas dans nos travertins contemporains siliceux, calcaires ou ferrugineux, une foule de modifications de structure tout à fait semblables. Les gaz qui accompagnent les dépôts d'eau minérale confinés dans la vase ou dans une masse qui n'est pas encore complétement durcie, y forment des tubes, des cellules, des vacuoles, des chambres ou des bulles comme

l'acide carbonique dans la fermentation panaire. Nous avons à Saint-Nectaire (Puy-de-Dôme) et ailleurs, des quartz cariés dont l'origine aqueuse est incontestable!

Les silicates contenus dans certaines roches fossilifères ne prouvent pas toujours qu'ils soient le produit d'une action neptunienne, mais quand ces silicates se trouvent distribués en rognons ou touchent, pour ainsi dire, les empreintes de corps organisés renfermés dans le terrain, il faut bien en conclure que ce ne sont pas des injections ignées et fluides qui ont formé les minéraux situés près de ces empreintes. C'est ce que l'on voit dans les terrains de transition près de Rothan dans les Vosges, où Dufrénoy a cité des noyaux de calcaire lamellaire, de l'épidote, de l'amphibole, du quartz et même de l'axinite. (*Bulletin de la Soc. géol.*, 2e série, t. 1, p. 408.)

Nous voyons partout dans la nature et dans tous les terrains l'action de solutions siliceuses s'épanchant du sein de la terre à des températures variables, ou de vapeurs entraînant de la silice et accompagnant toutes les roches éruptives, et cela à toutes les époques géologiques.

L'abondance du quartz dans les micaschistes et dans tous les schistes anciens, la présence de quartzites qui relient fréquemment les roches sédimentaires mécaniques aux roches siliceuses, indiquent, depuis les temps géologiques les plus reculés, d'immenses émissions de silice.

Le plus ordinairement, la silice, en arrivant des profondeurs du globe, est accompagnée de fer et de carbonate de chaux, mais, à toutes les époques, le départ de la silice s'est fait avec une grande netteté. On ne peut expliquer autrement les lits de silex de la craie et surtout ces rangées perpendiculaires de silex verticaux que l'on a observés en plu-

sieurs endroits, et particulièrement près de Norwich où ils sont désignés sous le nom de *Potstones*, et que Buckland a indiqué aussi suos le nom de *Paramondras*d ans la craie d'Irlande. On trouve de ces cailloux qui ont jusqu'à un mètre de hauteur. M. Lyell, qui les décrit, fait la remarque qu'ils contiennent invariablement un noyau cylindrique de craie, qui, dégagé de l'enveloppe siliceuse, présente la forme et le poli d'un arbre écorcé, et il pense, d'après les belles découvertes d'Ehrenberg, que ces cailloux, aussi bien que les rognons en lits horizontaux, doivent être attribués à des restes fossiles d'infusoires, d'éponges, ou d'autres corps organisés.

Quelle que soit la cause de la forme de ces silex, il faut toujours que la silice ait été amenée de l'intérieur du sol. Ces masses siliceuses de la craie sont représentées dans le terrain tertiaire de l'Auvergne, soit dans la Limagne, soit dans les environs d'Aurillac et du Puy par des couches ou des rognons de silex, par des ménilites de formes très-variées et par de très-belles masses de résinite. Partout le départ de la silice a eu lieu.

Les eaux minérales, appelées par les basaltes sur plusieurs points de l'Auvergne, ont donné naissance à des amas de meulières et de quartz caverneux dont plusieurs sont exploités. Les mêmes phénomènes ont été décrits par M. Sauvage dans l'île de Milo, mais ce sont les éruptions trachytiques qui en sont la cause première.

« Les quartz cariés, dit M. Sauvage, se présentent en masses irrégulières sans stratification apparente. Elles sont traversées par de petits filets de perlite et de quartz opalin... C'est dans les fentes de ces roches que se rencontrent les grottes à parois tapissées de soufre, d'où s'échappent des eaux minérales à température élevée. »

Le passage insensible du granite aux arkoses du plateau central indiquerait aussi l'apparition de sources siliceuses qui seraient sorties de la roche primitive, et qui en auraient cimenté les fragments. Selon M. Gruner, « l'arkose serait un dépôt mécanique des débris du granite, recimentés par les produits de quelques sources. L'acide carbonique a dû engendrer le ciment kaolinique; ailleurs des sources siliceuses ont lustré cette arkose; ailleurs le grès est fortement rougi par l'oxyde de fer et, en plusieurs points, presque entièrement remplacé par de grandes masses d'hématite rouge et d'oxyde de fer en roche, au milieu desquelles on distingue quelques lamelles de baryte sulfatée. En ce point, la source était donc essentiellement ferrugineuse et en partie aussi barytique. A un kilomètre du bourg de Chaillac, au hameau de Rossignol, on voit au milieu du gneiss un filon très-puissant d'oxyde de fer avec baryte sulfatée et spath fluor. C'est sans doute un des points d'émergence des sources en question. »

« M. Gruner attribue à des sources les minerais du Lias dans le Limousin, mais c'est, dit-il, « dans l'oolithe inférieure que ces sources paraissent avoir atteint leur plus grande énergie. La silice et l'acide carbonique semblent s'être dégagés d'une manière très-abondante, car on trouve partout des jaspes et de l'hydro-silicate d'alumine. A côté de ces sources, en quelque sorte générales, ont paru selon les lieux, des bicarbonates de fer et de manganèse, et plus rarement des bicarbonates de baryte, de plomb et de zinc; enfin, même dans certains points, de l'acide hydro-fluosilicique. En dernier lieu, ont paru sans doute à une époque assez rapprochée de la précédente, des sources sulfureuses qui ont transformé la baryte en sulfate, et une partie du zinc, du plomb et du fer en sulfures. » (*Ann. des mines*, 4e série, t. 18, p. 96.)

Le feldspath orthose, qui est bien évidemment un produit du feu dans les roches volcaniques, peut aussi avoir une origine aqueuse. M. Breithaupt l'a trouvé accompagné de cristaux de quartz dans le conglomérat du grès rouge de Floha. Il le cite aussi dans les druses du porphyre de Schwarzburg où il est associé à des zéolithes et à de la chaux carbonatée ; de plus à Bohmisch-Wiesenthal le feldspath a pseudomorphosé l'amphigène. (Delesse et Laugel, *Revue de géologie*, 1861, p. 151.)

M. G. Rose a signalé l'existence de petits cristaux de quartz dans le fer météorique de Toluca au Mexique. Il en conclut que ce quartz s'étant très-probablement formé avant que l'aérolithe atteignît notre atmosphère, il avait dû cristalliser à la basse température des espaces planétaires. Quant à nous, nous n'oserions invoquer cet exemple pour en tirer cette conclusion, car il est probable ou du moins possible que lors de la consolidation des aérolithes, ces petits corps planétaires aient été soumis à une température très-élevée.

Quant à la manière dont la silice, si complétement insoluble, est arrivée de l'intérieur du globe à la surface, il est facile de l'expliquer d'abord en se rappelant que cette substance, à l'état naissant, est très-soluble dans l'eau. D'un autre côté, la chimie nous apprend que la silice peut rester dissoute à chaud, dans les solutions aqueuses des carbonates de soude et de potasse, sans que l'acide carbonique combiné avec ces bases soit éliminé. (Damour, *Compte rendu de l'Acad. des sc.*, t. 24, p. 183.) Enfin, M. Fremy a reconnu que « le sulfure de silicium, dans son contact avec l'eau, peut donner naissance à deux phénomènes qui sont de nature à intéresser la géologie : l'un est la production d'une eau siliceuse, qui peut servir à expliquer certaines incrusta-

tions de silice; l'autre est la formation d'une eau contenant de l'acide sulfhydrique, qui présente de l'analogie avec celle qui constitue certaines sources sulfureuses naturelles. » Et il a fait remarquer en outre que tous les hydrates de silice calcinés au feu de forge, se changent en un corps présentant les propriétés physiques et chimiques du quartz cristallisé : cette transformation de la *silice chimique* en quartz lui paraît être un fait important pour la minéralogie. » (*Compte rendu de l'Acad. des sc.*, t. 36, p. 179.)

Les intéressantes études de M. Fremy sur les sulfures de silicium peuvent jeter un grand jour sur la production des eaux sulfureuses et sur la formation de la silice qui les accompagne, comme cela a eu lieu pour la source encore active du Puy de la Poix et pour les sources éteintes de Pont-du-Château.

On sait que M. Fremy partage les sulfures en trois classes, et qu'il place dans la dernière les sulfures de bore, de silicium, de magnésium et d'aluminium, sulfures à peine connus, décomposés par l'eau, et que M. Fremy a obtenus facilement au moyen d'une double réaction.

« Pour démontrer tout l'intérêt qui s'attache au sulfure de silicium, dit M. Fremy, il suffira de citer ici deux de ses réactions. Lorsqu'on chauffe du sulfure de silicium dans un courant d'air humide, il se décompose et forme des cristaux soyeux de silice anhydre ; il est évident que l'on peut expliquer, au moyen de cette expérience, la production naturelle de certains cristaux filamenteux de silice.

» Le sulfure de silicium mis en présence de l'eau, donne, comme on le sait, un vif dégagement d'acide sulfhydrique et de la silice qui reste entièrement en dissolution dans

l'eau, et ne se dépose que lorsqu'on évapore la liqueur. Il est impossible de ne pas rapprocher cette propriété curieuse du sulfure de silicium, des circonstances naturelles dans lesquelles se forment certaines eaux minérales et quelques incrustations siliceuses. » (*Compte rendu des séances de l'Acad. des sciences*, t. XXV, p. 28).

Nous trouvons effectivement, comme l'a démontré M. Descloizeaux, l'association de la silice et de l'acide sulfhydrique dans les geysers d'Islande. La présence de ces deux corps existe actuellement dans les eaux sulfureuses du Puy de la Poix, où des boutons de calcédoine se sont formés autrefois. L'analogie qui existe entre la roche du Puy de la Poix et celle de Pont-du-Château, entre le gisement des orbicules de silice de ces deux localités et leur association constante avec le bitume, doivent nous faire supposer que dans les deux cas ce sont les eaux minérales qui ont donné naissance à ces produits.

Il est vrai que la silice ne s'est pas déposée ici en aiguilles soyeuses. Elle a formé dans les pépérites ou wakites de Pont-du-Château de charmantes rosaces de quartz cristallisé, qui parfois même ont été recouvertes d'une couche translucide et bleuâtre de calcédoine. Ailleurs, la calcédoine pure a formé des gouttelettes isolées ou rapprochées; mais, dans tous les cas, rien ne s'oppose à ce que ces formes distinctes de la silice ne soient dues à la décomposition du sulfure de silicium. Les circonstances différentes sous lesquelles la décomposition du sulfure peut avoir eu lieu, les inégalités de pression, la présence de corps étrangers dans la dissolution, peuvent modifier les formes de la silice et l'empêcher de cristalliser en aiguilles soyeuses comme cela a eu lieu dans le laboratoire de M. Fremy.

Il se peut encore, que l'hyalite qui se présente sous la forme d'une rosée congelée sur les scories de nos volcans, que les quartz résinites si abondants dans nos wakites bitumineuses, doivent aussi leur origine et leur dépôt à d'anciennes réactions de l'eau sur des sulfures de silicium. Il suffit d'admettre la présence de ce sulfure sous les terrains primitifs, dans ces profonds et mystérieux laboratoires de la nature où les eaux vont puiser leurs principes minéralisateurs.

L'action que les vapeurs thermales exercent sur les roches primitives a fait supposer à plusieurs chimistes, que la silice et les silicates que contiennent les eaux minérales, proviennent de cette altération et sont puisées par les eaux dans leur trajet à travers ces roches. M. Filhol lui-même rapporte cette théorie dans son remarquable ouvrage sur les eaux minérales des Pyrénées, mais il ajoute aussitôt : « Il faut cependant convenir que cette hypothèse présente une difficulté sérieuse ; car les roches au travers desquelles viennent sourdre les eaux thermales des Pyrénées, contiennent presque toutes plus de silicate de potasse que de silicate de soude, tandis que l'inverse a lieu dans les eaux sulfureuses. » (Page 114).

M. Filhol explique cette anomalie *apparente* pour lui par la réaction que pourrait exercer la silice sur le monosulfure de sodium que contiennent les eaux ; car pour lui, le principe sulfureux de ces eaux est dû à un monosulfure de sodium accompagné d'une trace insignifiante d'acide sulfhydrique qui provient de la décomposition du sulfure par l'action combinée de l'eau, de l'air et de la silice que celle-ci tient en dissolution.

Le quartz nous offre encore un phénomène très-curieux

constaté par M. Schaffgotsch en 1846, c'est la différence de densité dans certaines circonstances.

« 1°. *L'état amorphe* d'une densité de 2,2 à 2,3, et 2°. *l'état cristallisé* d'une densité de 2,6. Ce dernier ne se forme, ajoute M. Rose, que par voie humide ou au moins avec l'aide de l'eau ; l'acide silicique amorphe se forme en partie également par voie humide, en partie aussi par fusion. L'acide silicique cristallisé existe seul dans le granite. » (*Ann. des mines*, 3e série, t. 58, p. 193.)

En s'appuyant sur ces considérations, M. H. Rose discute longuement l'origine du granite, et conclut à une formation aqueuse pour les trois éléments qui constituent cette roche. Nous ne le suivrons pas dans cette savante discussion, nous y renverrons le lecteur (local. citée), et nous l'engagerons aussi pour connaître la question sur toutes ses faces, à lire le savant mémoire dans lequel M. Ch. Sainte-Claire Deville réfute en partie et avec beaucoup de justesse l'opinion du chimiste de Berlin.

Si l'on attribue l'origine du quartz à des eaux minérales, comme on ne peut en douter après l'étude que nous avons faite des filons de ce minéral, il est bien difficile de ne pas faire intervenir la même cause dans la formation du granite.

Nous ne voulons pas dire que le granite soit un produit direct des eaux, mais que celles-ci sont intervenues dans sa formation. M. Sorby, qui a étudié avec soin des plaques minces de granite au microscope, y a reconnu « un nombre immense de cavités qui renferment de l'eau, ainsi que des dissolutions salines, et ces substances ont dû se trouver à l'état liquide dans ces roches au moment où elles se sont formées. Les cavités qui renferment ces fluides sont semblables à celles qu'on connaît dans le quartz ; seulement elles

sont trop petites pour être distinguées à la vue simple. Avec un fort pouvoir grossissant, il est d'ailleurs possible de les voir avec la plus grande perfection; dans le quartz du granite et de quelques roches métamorphiques, elles sont quelquefois si nombreuses, qu'il y en a plus de mille millions dans un pouce cube. » (*Bull. de la Soc. géol. de France*, 1860, p. 571.)

Si le granite a été formé par voie humide, il faut, de toute nécessité, attribuer la même origine au mica. Mais ici, comme pour le feldspath, il faut accepter deux causes pour la création de ce minéral. Les laves du Vésuve en renferment, et souvent, nous l'avons observé nous-même dans celles du Mont-Dore.

Il faut dire aussi que les pseudo-morphoses du mica en scapolithe, en feldspath et en andousite, que MM. Bischoff et Gustave Rose ont observés, accusent au contraire l'intervention de l'eau ou de la vapeur.

Nous sommes loin de prétendre que tous les silicates, et surtout les gemmes à base d'alumine, soient d'origine aqueuse; les expériences d'Ebelmen, celles de M. Gaudin, de M. Daubrée, de MM. Henri Sainte-Claire Deville et Caron, prouvent que de nombreuses combinaisons minérales peuvent être produites par la voie sèche, à la condition d'employer certains dissolvants, tels que les fluorures qui semblent agir par la voie sèche, comme l'eau thermale ou la vapeur par la voie humide.

Les expériences si intéressantes de M. Daubrée sur l'action de l'eau surchauffée à une haute pression, ne laissent aucun doute sur la puissance de ce corps dans les anciennes formations géologiques. M. Daubrée, en variant ses expériences, a pu feldspathiser des argiles, former du pyroxène

diopside, du mica, réduire du bois en anthracite, en houille, en lignite, produire des combinaisons hydratées ou anhydres, et séparer la silice sous forme de quartz cristallisé. Cette dernière substance semble par conséquent devenir un témoin de l'action de l'eau dans les roches où elle se trouve. L'action de l'eau surchauffée ou des anciennes sources minérales est donc des plus variées et des plus riches dans ses effets.

M. Daubrée n'est pas éloigné de regarder comme neptunien le vaste terrain de gneiss de la Scandinavie. « La présence de l'anthracite dans de nombreux amas métallifères qui sont enclavés dans ces gneiss, dit-il, l'existence d'une matière charbonneuse dans le calcaire de Dannemora, portent à regarder ce terrain, si étendu en Scandinavie et en Finlande, comme déposé par voie sédimentaire, lorsqu'il existait déjà des végétaux à la surface du globe. C'est aussi la conclusion que M. E. de Beaumont a rendue très-vraisemblable pour le gneiss des Vosges et pour celui d'autres localités. » (*Ann. des mines*, 4e série, t. 4, p. 204.)

Dans un Mémoire plein d'intérêt sur le terrain de transition des Vosges, M. Kœchlin Schlumberger arrive à une conclusion analogue. « Il existe, dit-il, des filons remplis tantôt de quartz, puis tantôt de granite, les deux substances passant l'une à l'autre... Les filons de quartz peuvent donc être une formation contemporaine et de même origine que ceux de granite. Prise d'une manière absolue, cette observation amène à la singulière conclusion que voici: Ceux qui considèrent le granite comme injecté à l'état de fusion ignée, doivent admettre pour les filons de quartz, la même formation, tandis que ceux qui veulent la formation des filons de quartz par la voie humide, doivent adop-

ter la même voie humide pour le granite ; en faisant choix de la dernière alternative, je suis conséquent comme le sont les adeptes de Hutton quand ils choisissent la première. » (*Le Terrain de transition des Vosges.*)

Rien de ce que nous offre le granite sur le plateau central ne peut nous faire supposer qu'il ait été doué d'une chaleur intense, ni qu'il ait pu métamorphiser des gneiss ou des micaschistes. On observe assez souvent ses passages au gneiss ; il est impossible de préciser les limites de ces deux roches, mais on reconnaît distinctement que le granite à grains de différentes grosseurs s'est montré à plusieurs reprises, a constitué des filons d'injection dans d'autres granites, mais nulle part on n'aperçoit d'action métamorphique sur les roches environnantes. Le granite passe même de la manière la plus insensible à des arkoses évidemment sédimentaires, mais dont la sédimentation a été accompagnée d'émission d'eaux minérales.

M. Murchison a signalé en Ecosse deux formations de gneiss, une anté-silurienne et une silurienne. La dernière serait évidemment d'origine aqueuse.

La silice est un corps qui possède de singuliers caractères. Elle peut se diviser à l'excès et se présente souvent dans cet é at extrême de division en suspension dans les eaux et par suite dans les terres arables provenant d'alluvion. M. Bischoff cite un exemple remarquable de cette division. Dans la grande crue du Rhin, qui eut lieu en 1852, il recueillit une certaine quantité d'eau trouble qui mit quatre mois à s'éclaircir. 100,000 parties d'eau ont produit un dépôt, de 20 parties composées surtout de silice (plus de moitié), d'alumine, d'oxyde de fer, de chaux et de magnésie. La silice s'est trouvée soluble dans l'acide hydrochlorique. La

trituration de cette silice par le mouvement des eaux était telle, qu'au bout de quatre mois, comme nous venons de le dire, l'eau n'était pas clarifiée et que les matières flottantes traversaient le papier à filtrer.

M. Quiquerez a fait remarquer à la Société helvétique réunie à Chaux-de-Fonds, en 1855, dans une notice très-intéressante, la position des sables siliceux de Courte, près de Moutiers, dans le Jura bernois. Ces sables présentent la forme d'une voûte, et ils reposent sur le terrain jurassique à *Ostrea Virgula*.

« L'arrangement de ces sables, dit M. Quiquerez, semble prouver qu'ils ont été apportés dans la place qu'ils occupent aujourd'hui au moyen des sources qui ont déposé l'ensemble du terrain sidérolitique. »

M. Moissenet, dans un grand Mémoire sur le gisement du minerai de plomb dans le calcaire carbonifère du Flintshire, après avoir cité le plomb et les divers minerais qui l'accompagnent, indique la silice pulvérulente contenant quelques cristaux de calcaire spathique et quelques paillettes de galène, et il ajoute :

« Ce n'est guère que par dissolution et entraînement dans la vapeur d'eau, que cette silice a pu être amenée et déposée en cet endroit, où jaillissait sans doute un de ces geysers, analogues à ceux de l'Islande actuelle, et dont M. E. de Beaumont a indiqué l'existence probable et les effets sur le remplissage des filons. » (*Ann. des Mines*, 5e série, t. XI, p. 419.

On doit à M. Damour des analyses qui jettent du jour sur la formation des quartz hydratés, opales ou résinites. Il a observé d'abord que la véritable hyalite, des volcans ne contient pas d'eau ou n'en contient que très-peu, tandis que

la fiorite du mont Amiata en renferme. M. Damour pense que ce minéral doit sa formation à un dégagement de gaz hydrofluosilicique à travers l'eau ou des matières humides et poreuses. « L'acide fluorique ou fluosilicique qu'il contient se trouverait, non pas combiné, mais enveloppé dans la masse du minéral, qui présenterait alors beaucoup d'analogie avec la silice gélatineuse obtenue artificiellement dans la préparation de l'acide hydrofluosilicique. »

M. Damour a trouvé de l'eau dans les opales chatoyantes du Mexique et dans tous les quartz résinites qu'il a analysés.

M. Gaulthier de Claubry a reconnu que la couleur rouge de la cornaline est due à une matière organique.

D'un autre côté, M. Heintz, qui a analysé la cornaline, assure qu'elle n'est pas colorée par une matière organique. (*Ann. de Poggendorf,* t. L, p. 519.)

La silice, tout en ayant une grande tendance à se solidifier, peut rester longtemps à l'état de dissolution, car si l'on sature par un acide une solution de silicate de potasse ou de soude et que l'on ajoute un excès d'acide, la silice ne se dépose pas à l'état gélatineux, elle reste en dissolution, pourvu qu'elle soit à la quantité d'eau dans le rapport de 1 à 32. L'acide carbonique en excès, comme celui qui existe dans un grand nombre d'eaux minérales, suffit pour maintenir l'acide silicique en dissolution complète.

La silice est même tellement soluble en certaines circonstances, que M. Jeffreys rapporte, dans la *Bibliothèque de Genève*, t. 29, p. 417, qu'ayant fait passer de la vapeur d'eau dans un four où l'on cuisait de la poterie de grès, il s'est dissous plus de *cent kilogrammes* de silice. Plusieurs kilogrammes de cette matière se trouvèrent déposés aux

passages de sortie de la vapeur du four, sous forme de neige, sur des matériaux qui ne se trouvaient échauffés qu'à la température rouge.

Les terrains les plus anciens ont été accompagnés d'eaux minérales ou de vapeur d'eau surchauffée, dès leur sortie, à travers les terrains préexistants, et le résultat de ces émanations aqueuses a été presque toujours du quartz ou des dépôts métalliques.

M. Gruner cite à 1,000 mètres de Saint-Priest-la-Prugne, au hameau du Coin, sur la lisière du bois de Montoncelle des filons de quartz agathe interposés précisément entre le granite et les roches porphyriques. « Du village des Barges, dit M. Gruner, la ligne de jonction s'étend par une gorge le long du flanc occidental de la butte porphyrique de Vernay, traverse le col qui relie cette butte au plateau granitique du bois de Combanouze, et redescend enfin par une autre gorge pour gagner le pied occidental du mont Calvaire de Champoly. Un filon de quartz laiteux signale au col de Combanouze le contact des deux terrains, et la crête est dans la direction même de la ligne de contact. »

On trouve pourtant aussi à ce contact des filons calcaires. Nous avons vu, dans le département de la Loire, à Genétines, un filon de galène, et près de la butte de Sarat un large filon de marbre blanc.

Peut-être faut-il rapporter aux sources de Bourbon-l'Archambault ou à des sources analogues aujourd'hui taries, ces masses de quartz gélatineux de la commune de Tortezais (Allier), et qui ont été le sujet d'un Mémoire très-intéressant de la part de M. Guillemin.

« Ce quartz, dit M. Guillemin, est abondamment répandu ; tantôt il sert de ciment à des grès, tantôt il se trouve

au milieu de ces grès en amas souvent considérables. Sur la route de Noyont à Cosnes, entre Bussières et Tortezais, on voit un de ces amas qui coupe le chemin sur une longueur de plus de 30 mètres, et qu'on retrouve, de chaque côté dans les champs, en morceaux détachés sur une grande étendue. »

» Les surfaces exposées à l'air sont plus ou moins altérées ; elles passent au quartz nectique. »

» Si cette silice a été déposée par des sources chaudes, elles ont dû être très-abondantes et très-nombreuses. » (*Ann. des Mines*, t. 13, p. 324.)

Le quartz hyalin existe en cristaux limpides dans le marbre de Carare comme dans les filons de baryte de la Haute-Loire.

Les cristaux de quartz hyalin que contiennent les meulières sur quelques parties de l'Auvergne, indiquent bien que le quartz hyalin y est aussi un produit de l'eau, et ce mode d'origine ne peut pas non plus être révoqué en doute pour de petits cristaux hyalins existant dans quelques bois silicifiés des houillères.

M. d'Orbigny a présenté, en 1836, à la Société géologique, un échantillon d'albâtre gypseux de Thorigny près Lagny contenant un très-grand nombre de petits prismes de quartz hyalin limpide. Cette association a aussi été signalée en d'autres localités.

Ce n'est que par voie humide que l'on est parvenu à obtenir artificiellement de petits cristaux de quartz hyalin. C'est en chauffant à la température de 200 à 300 degrés de l'eau chargée d'acide carbonique ou contenant de l'acide chlorhydrique étendu, et en y dissolvant de l'acide silicique, que Senarmont est arrivé à ce résultat. Or, rien ne s'oppose à ce que les mêmes conditions se soient présentées souvent dans la nature.

Une foule de considérations viennent encore se réunir en faveur de l'origine aqueuse du quartz dans la plupart de ces gisements. Nous pouvons y ajouter aussi l'étude des cristaux encapuchonnés formés d'enveloppes successives qui se détachent si facilement, indiquant une formation lente et successive. Si l'on persistait à vouloir expliquer cette superposition ou plutôt cet emboitement par des phénomènes de retrait, il suffirait pour réfuter cette opinion d'examiner plusieurs de nos gros cristaux d'améthyste, alternativement formés de lames cristallines de quartz hyalin et de quartz violet. Comment expliquer par la fusion ces singulières alternances?

Les zones des agathes nous conduisent à la même opinion, comme les silex de la craie et les meulières de tous les pays. Les quartz résinites que les eaux minérales forment encore sous nos yeux sont des précipités de silice gélatineuse.

Mais ce qui prouve bien mieux encore la dissolution complète de la silice dans l'eau, c'est la propriété que possède cette substance (comme le fer oxydé) de se substituer molécule à molécule aux corps organisés, et de constituer des pétrifications dans lesquelles les tissus les plus délicats, les pores les plus fins, les linéaments les plus déliés sont admirablement conservés.

La *silicification* des matières organiques, cette substitution de la silice à la substance animale ou végétale s'est opérée molécule à molécule; ce n'est pas une imprégnation, mais une véritable substitution qui, dans les bois fossiles, a laissé reconnaissables les moindres fibres et les plus petits vaisseaux. Il faut bien admettre des solutions siliceuses pour opérer ce prodige, car les bois silicifiés sont d'une extrême abondance et appartiennent à diverses époques géologiques. Toutefois,

il est bien difficile d'expliquer, même par l'action d'eaux minérales chargées de silice, la présence d'arbres entiers silicifiés et encore debout comme ceux que M. Triger a observés dans l'île de Portland, et comme la forêt d'agathe qui occupe, en Egypte, plusieurs lieues carrées aux environs du Caire.

Nous avons cité, au commencement de ce chapitre, le bois de Bouleau silicifié à l'époque actuelle par l'eau des geysers, et observé en Islande par M. Robert.

Pour les matières animales, il y a eu plus souvent épigénie ou pseudomorphose que substitution de la silice.

M. Gruner a trouvé « dans les marnes supraliasiques des environs de Sauxais au contact des granites de la Vendée, de nombreuses belemnites évidées dont les unes sont, intérieurement, simplement tapissées, les autres entièrement comblées de cristaux de quartz. La roche est d'ailleurs elle-même endurcie et complétement pénétrée de silice dans ses diverses parties. De plus, toutes les fissures sont revêtues de cristaux de spath fluor cubiques et jaunes. » (*Annales des mines*, 4e série, t. 18, p. 83.)

Les opales incrustantes qui se déposent encore à Carlsbad sont presque entièrement composées de carapaces d'une espèce de navicula et de quelques baccillaires. M. Ehrenberg, après avoir soumis ces opales à cette analyse microscopique, s'assura que les opales de l'Ile de France et celles de Santa-Fiora, en Toscane, étaient aussi composées de carapaces de baccillaires et de spicules d'éponges. On ne peut avoir de preuve plus précise de la formation aqueuse de cette espèce de silice.

CHAPITRE X.

Du Carbone et de l'Acide carbonique.

—

Nous touchons ici à l'élément le plus important dans la création du globe, si toutefois un élément isolé pouvait avoir de l'importance.

Le charbon *pur* cristallisé ou le diamant, d'une extrême rareté, peut tout aussi bien avoir une origine aqueuse qu'une existence plutonienne. Ses véritables gisements sont peu connus.

Les diamants trouvés dans leur guangue sont toujours dans du fer hydraté (au Brésil du moins) qui ne peut être qu'un produit des eaux minérales; rien ne prouve, il est vrai, que ces diamants ne sont pas venus d'ailleurs. Ils auraient alors été empâtés par la guangue ferrugineuse lors de sa formation. Mais il vaut mieux s'abstenir encore que de se perdre en conjectures sur leur mystérieuse origine, quoique M. Gœppert ait cru reconnaître la forme du tissu cellulaire dans les cendres provenant de la combustion d'un diamant.

Le carbone brut, anthracite en charbon de terre, est aussi fréquent, aussi abondant que le diamant est rare. Ici nous ne pouvons nier l'action indirecte des eaux thermales qui sont allées puiser ce charbon dans les profondeurs de la terre. Le rôle de l'acide carbonique est si important, que nous devons consacrer à son étude le développement nécessaire pour faire apprécier toutes les mutations qui, par son

action, s'opèrent dans les rapports du règne organique avec le règne inorganique.

DE L'ACIDE CARBONIQUE.

L'acide carbonique existe dans presque toutes les eaux minérales. On le voit souvent libre et dégagé de toute pression intérieure, arriver au jour en bouillonnant avec force. Il s'échappe des eaux froides et plus activement des eaux chaudes qui ne peuvent en tenir en dissolution d'aussi grandes quantités.

C'est généralement l'acide carbonique refoulé dans les conduits souterrains et plus ou moins comprimé qui est la cause de l'intermittence de plusieurs sources minérales.

On le trouve libre dans une foule de circonstances, mais souvent aussi il est combiné à des bases.

M. Buignet en lisant à l'Académie de médecine un mémoire très-remarquable sur le dosage de l'acide carbonique dans les eaux minérales, a fait remarquer que plus les eaux sont riches en acide carbonique libre, plus elles contiennent en général de bicarbonates alcalins, et il attribue la présence de ces bicarbonates à la réaction de l'acide carbonique sur d'autres sels que les eaux auraient pu entraîner dans leur passage. Il est certain que cet acide sous une forte pression peut même décomposer le sulfate de baryte.

M. Fournet a observé ce dernier fait dans les mines de Pontgibaud, où nous avons vu nous-même des échantillons de sulfate de baryte fortement altérés par les eaux gazeuses.

En Auvergne, on rencontre partout l'acide carbonique, et il est surtout répandu dans la plaine. S'il pouvait rester quelque doute dans l'esprit des géologues sur l'origine des calcaires de la Limagne que nous attribuons à des dépôts

d'eaux minérales, ces doutes seraient levés par la présence de l'acide carbonique.

La majeure partie de ces calcaires sont imprégnés de cet acide depuis un temps immémorial. Il se dégage de toutes les fissures de ce calcaire, et cette émission abondante est un des phénomènes les plus curieux de la géologie de l'Auvergne.

L'invisibilité de l'acide carbonique fait que c'est seulement dans des circonstances particulières que l'on peut apercevoir son dégagement.

Dès que l'on fait une excavation dans le sol, il s'y rassemble, et une lumière s'éteint dans un grand nombre de puits de la Limagne. Il y a même des endroits où le gaz s'est frayé une issue et se dégage en abondance ; c'est ce qui a lieu près d'Aigueperse, au bas de la butte de Montpensier, dans un lieu nommé à cause de la présence de cet acide, *fontaine empoisonnée*. C'est un trou arrondi, placé au milieu d'un petit enfoncement de terrain, et d'où il sort continuellement une très-grande quantité de gaz. Ordinairement cette cavité contient de l'eau bourbeuse à travers laquelle le gaz sort avec bruit ; mais s'il survient une pluie abondante, l'eau peut se réunir dans la dépression du sol et former une mare à la surface de laquelle l'acide s'élance en bouillonnant et en produisant un bruit assez fort pour qu'on l'entende à une certaine distance. Aussi ne manque-t-on pas de dire que l'eau bout en hiver, et cependant reste froide, parce que en effet, c'est ordinairement dans cette saison qu'elle se rassemble pour former une mare.

Le nom de *fontaine empoisonnée* lui vient de ce que souvent, pendant l'été, avant que l'on ait construit un petit bâtiment sur le trou même, des animaux s'approchaient

pour y chercher de l'eau et tombaient sur-le-champ asphyxiés. Nous y avons trouvé plusieurs fois des oiseaux, des insectes et surtout de petits rongeurs qui, dans leurs courses nocturnes, entraient dans la petite atmosphère d'acide carbonique qui remplissait la dépression du sol.

Près du lac Laacher, on rencontre une source d'acide carbonique sans eau qui rappelle tout à fait le dégagement situé près d'Aigueperse. C'est un phénomène tout à fait semblable à celui de la Grotte du Chien en Italie. C'est aussi ce qui avait lieu autrefois dans la même contrée pour le lac Averne qui, comme celui d'Aguano, a été le cratère d'un volcan. Les Grecs donnaient à ce lac et pour cause d'absence des oiseaux, le nom d'*Aornos*; mais actuellement, il est certain que les oiseaux s'en approchent et qu'ils habitent ses bords.

A peu de distance de la source d'acide carbonique d'Aigueperse s'élève la butte de Montpensier. Elle est formée par plusieurs assises de calcaire marneux; une inférieure, d'un bleu foncé, extrêmement compacte; une autre supérieure de marne jaunâtre, contenant de petites veines de gypse. Pour exploiter ce plâtre, assez rare en Auvergne, les habitants du village ont creusé des galeries dans la butte et les poussent même à une assez grande profondeur, sans qu'il y ait jamais eu d'autres accidents que des éboulements fréquents, mais jamais d'asphyxies. Ils sont préservés de l'acide carbonique par la marne bleue qui se trouve entre le calcaire lacustre et la marne gypseuse.

Tout porte à croire que cette marne se prolonge dans les environs de la butte, et recouvre une partie de la plaine, en sorte que l'acide carbonique se trouve emprisonné dans le calcaire lacustre, comme dans certains pays, l'eau se trouve

enfermée dans la craie ou dans les sables verts et retenue par une couche d'argile. On peut donc assimiler ici le dégagement du gaz aux eaux jaillissantes des puits artésiens.

Sur presque tous les points de la Limagne, l'acide carbonique, très-répandu, se dégage insensiblement par les fissures de calcaire. Si dans quelques endroits, il se forme une petite mare, on voit de temps en temps des bulles d'acide s'élever de la surface du sol et venir crever à la partie supérieure du liquide. C'est principalement en sortant de Clermont par le chemin qui conduit à Royat, que l'on remarque ce dégagement de gaz. Dans toute la plaine que l'on désigne sous le nom expressif de *Salins*, laquelle est couverte de jardins potagers et coupée par un grand nombre de petits canaux d'irrigation, on remarque des bulles de gaz qui sortent continuellement du sol partout où il est couvert d'eau. Enfin, en poursuivant la même route on arrive bientôt près de Chamalières, à Montjoli, où il existe quelques grottes. Ces grottes sont formées par une des extrémités du courant de lave de Gravenoire, lequel, presque aussitôt sa sortie du volcan, s'est épanché sur le terrain calcaire. Le sol des grottes est donc le même que celui de la plaine, et l'acide qui s'en dégage à chaque instant, se trouvant emprisonné par la lave, reste enfermé dans le fond, s'élève jusqu'à la sortie, et, plus pesant que l'air, s'écoule comme un liquide en reproduisant ici le phénomène de la Grotte du Chien située près de Pouzzoles.

Cette grande quantité d'acide carbonique dont le sol de la Limagne est imprégné n'est certainement pas sans influence sur la végétation. Dans la plaine des Salins qui en paraît saturée, on trouve le *Glaux maritima* aussi vigoureux que sur les rivages de la mer, et l'on est tenté de croire que la

végétation étonnante de la Limagne est due en partie au dégagement continuel d'acide carbonique qui a lieu à sa surface. Ce qu'il y a de certain, c'est que les plantes fourragères, les céréales, les Fèves, les Chanvres, les Noyers et tous les végétaux dont les feuilles nombreuses et serrées couvrent exactement la surface du sol, y acquièrent un développement extraordinaire, et qui, dans toute autre partie de la France, exigerait des engrais qu'on est bien loin de leur prodiguer ici. Il est probable que leurs feuilles absorbent l'acide carbonique à mesure qu'il se dégage, et que leurs racines profitent aussi de celui qui est confiné dans le sol.

Nous avons trouvé la même opinion émise par le célèbre Saussure dans le passage suivant de son *Voyage dans les Alpes* (t. 6, § 1658). « A trois quarts de lieue au-dessus de Cherlé, on sort des bois, et on entre dans des prairies dont on commençait alors à recueillir les foins. Les prairies sont parsemées de granges qu'on n'habite qu'en été. Elles sont extrêmement fertiles, on ne voit le roc presque nulle part; partout des bois ou des pâturages ; les pentes mêmes rapides des ravins sont couvertes de bois : diverses sommités en pyramides aiguës sont boisées jusqu'à leurs cimes. Peut-être l'air fixe ou acide carbonique contribue-t-il à cette fertilité ; du moins la quantité de tuf calcaire que déposent les sources que l'on rencontre à chaque pas, prouve-t-elle qu'il se dégage de leurs eaux une quantité considérable de ce gaz. »

A ces dégagements d'acide carbonique non accompagnés de sources minérales, nous devons ajouter encore tout celui qui, libre ou combiné, sort de terre avec ces fontaines. Nous n'avons pas besoin de rappeler combien ces sources sont fréquentes sur le plateau central et principalement dans le

département du Puy-de-Dôme. Elles sortent à la fois des terrains primitifs, des terrains tertiaires et des sols volcaniques.

Le sol de Clermont et des Salins est couvert de travertins calcaires de formation récente; les sources de Saint-Alyre fonctionnent encore ; celles de Saint-Nectaire ont recouvert le granite d'incrustations calcaires ; celle de Chalusset, à Pontgibaud, sur le bord de la Sioule, ne traverse aucune couche calcaire pour y puiser son travertin. Nous ne pouvons donc pas admettre que cet acide doive son origine à la décomposition des calcaires. Tout nous fait présumer qu'il ne fait que traverser les assises lacustres de la Limagne, mais qu'il ne s'y forme pas. Il s'échappe des fissures du grand bassin primitif sur lequel reposent les sédiments calcaires, comme il sort visiblement avec des eaux minérales sur plusieurs points du département.

Nous pourrions citer un grand nombre de localités où le sol est imprégné d'acide carbonique, comme aux environs de Clermont. A Marienbad, en Bohême, partout où l'on creuse le sol, il se dégage du gaz acide carbonique pur ou mélangé à de l'hydrogène carboné. Aussi, dans toutes les caves, dit M. Rotureau, dans toutes les fosses, on en peut constater la présence. Au niveau même, et par les fissures naturelles du sol, il s'en fait un dégagement considérable.

L'Eiffel, contrée volcanique sur les bords du Rhin, offre, comme l'Auvergne, un grand nombre de sources minérales riches en acide carbonique. Ces sources gazeuses sont tellement répandues, dit M. Jean Raynaud, que, sur un rayon fort étendu, on rencontre peu de villages qui n'en soient pourvus, quelquefois même au détriment de l'eau commune qu'on s'y procure moins facilement.

Nous pouvons citer encore la série de phénomènes présentés par le foncement d'un puits près du village de Vergonghon (Haute-Loire), où existent d'importantes mines de houille. « Toutes les fois, dit M. l'ingénieur François, auquel nous empruntons ces détails, que l'on devait atteindre une couche arénacée, sa présence était annoncée par des sifflements dus au dégagement du gaz. Dans la profondeur, les sifflements étaient plus intenses ; la calotte du terrain recouvrant la couche perméable se soulevait spontanément, et l'on avait le spectacle d'une roche que l'on déblayait à la poudre, devenue, par le fait de l'expansion du gaz, si meuble, que les ouvriers y enfonçaient jusqu'aux genoux. Une dernière et malheureuse explosion, qui fit abandonner le foncement à la main, eut lieu à 200 mètres de profondeur. Le bruit du gaz se produisit plus intense que le sifflet des plus fortes locomotives. Le fond du puits se souleva spontanément de 22 mètres de hauteur. En tenant compte de la résistance des terrains soulevés, on trouve que la pression expansive du gaz aurait dépassé 31 kilogr. par centimètre carré, et cependant elle s'est manifestée à 200 mètres seulement, c'est-à-dire à une profondeur dont la température pour Paris ne serait que de 19 à 20 degrés. Sur quelle échelle, dès-lors, doivent se mesurer les phénomènes de pression qui se passent aux profondeurs correspondant à nos eaux les plus chaudes, c'est-à-dire à 2,000, à 2,500 mètres en n'admettant aucun refroidissement dans le trajet ! »

« Nous nous sommes étendu à dessein, continue M. François, sur ces détails qui témoignent l'influence expansive des gaz souterrains et le rôle important qu'ils jouent dans l'émission ascensionnelle des eaux thermales. Ils donnent

l'explication de ce fait, qu'à Vichy, tous les sondages ont donné de l'eau minérale par la rencontre à différentes profondeurs, de couches arénacées perméables à l'eau et au gaz souterrain. » (*Les Eaux minérales dans leurs rapports avec la science de l'ingénieur*, pp. 6 et 7.)

Nous ne nous arrêterons pas sur la théorie de quelques chimistes et de plusieurs médecins qui expliquent le dégagement de l'acide carbonique des sources par la décomposition des carbonates à des profondeurs diverses. D'après eux, la chaleur intérieure du globe chasserait l'acide carbonique de ses combinaisons et lui permettrait de venir ainsi au jour avec les eaux. S'il en était ainsi, il devrait exister à l'intérieur du globe des masses considérables de chaux, de magnésie, de soude, de potasse, etc., caustiques ou hydratées.

Il faudrait expliquer préalablement l'origine des carbonates décomposés, et dire aussi comment des torrents d'acide carbonique peuvent sortir de terrains primitifs qui ne contiennent pas un atome de calcaire.

Les expériences de MM. Rogers sur l'action de l'eau chargée d'acide carbonique sur divers minéraux complétement insolubles, nous prouvent combien les eaux minérales, soumises à une forte pression, peuvent modifier ou détruire certaines espèces minérales, et ces considérations nous conduisent à examiner le rôle de l'acide carbonique aux diverses époques de la création de la terre.

Quand nous comparons les phénomènes que nous présentent actuellement les eaux minérales dans leurs dépôts de travertins, à ceux qui ont dû se produire autrefois, nous arrivons à des conséquences extrêmement curieuses, et qui nous prouvent que l'apparition des sources thermales a dû

avoir une influence bien marquée sur la composition de l'atmosphère.

En effet, une source qui, à l'époque actuelle, donne un dépôt de carbonate de chaux et de carbonate de magnésie, arrive au jour en tenant en dissolution les matières qu'elle va bientôt déposer. L'eau est limpide, transparente, et c'est après quelque temps seulement qu'elle abandonne son dépôt. Il y avait dans cette eau un principe capable de dissoudre le carbonate, et ce principe n'est pas difficile à trouver, c'est l'acide carbonique. On sait très-bien que les carbonates insolubles que les eaux abandonnent, y sont d'abord à l'état de bicarbonates, et c'est seulement quand l'excès d'acide carbonique s'échappe, que le sous-carbonate se dépose. Mais que devient cet acide carbonique qui s'échappe? où va-t-il? dans l'atmosphère. En faisant abstraction de la grande quantité de gaz pur que les eaux amènent avec elles, nous avons donc, pendant le simple dépôt des travertins, une cause continuelle de production d'acide carbonique, et une cause très-active, en ce qu'elle ne cesse jamais, et en ce qu'elle peut produire des masses énormes de gaz. Ainsi, le dépôt de 100 kilogr. en poids de carbonate de chaux, aura versé dans l'atmosphère environ 30 kilogr. d'acide carbonique, et si l'on se rappelle que ce corps est gazeux, qu'un litre pèse seulement un tiers en sus d'un litre d'air ordinaire, on restera étonné de la quantité qui est journellement produite et continuellement versée dans l'air que nous respirons.

Il se forme, en effet, bien des quintaux de travertins tous les jours, et si, remontant aux anciennes périodes géologiques, nous considérons toujours les eaux minérales comme la source de tous nos calcaires tertiaires, des assises immen-

ses qui forment tous les terrains secondaires, et même de ces couches si puissantes qui ont précédé l'apparition des houilles, nous resterons convaincus qu'à plusieurs époques, de grandes quantités d'acide carbonique ont été versées dans l'atmosphère, et que sa composition a dû plusieurs fois en être altérée au point d'agir de diverses manières sur les êtres vivants qui s'y trouvent tous plongés. Nous admettrons donc comme positif et comme une conséquence forcée du raisonnement que nous venons de suivre, que la majeure partie des calcaires qui existent sur le globe a été formée par des eaux minérales, et qu'une quantité d'acide carbonique égale en poids à environ un tiers de ces calcaires, a été rejetée dans l'atmosphère. Or, comme le globe terrestre est recouvert, sur un grand nombre de points, de couches calcaires très-puissantes, comme de grandes formations de même nature, quoique d'époques distinctes, se montrent superposées dans beaucoup de localités, des masses énormes d'acide carbonique ont dû se répandre dans l'atmosphère; et si nous connaissions exactement l'épaisseur de toutes les couches de marbre, de craie, de travertins, en un mot, de calcaires qui existent sur la terre; si, par un calcul fort simple, nous les transformions en une couche d'épaisseur moyenne qui envelopperait la terre entière, il nous serait facile d'établir le poids d'acide carbonique qu'elles auraient abandonné, et le volume de la zone de gaz dont le globe a dû être entouré.

Mais ces dégagements n'ont pas été instantanés; ils se sont succédés pendant une longue série de siècles, modifiant continuellement l'enveloppe gazeuse qui environne notre planète, et agissant d'une manière favorable ou nuisible sur les êtres vivants de ces diverses époques. La première appa-

rition un peu considérable d'acide carbonique date du dépôt des calcaires qui ont précédé les houilles. Avant la création de ces calcaires, notre atmosphère ne contenait peut-être aucune partie d'acide carbonique : car, s'il eût existé, la potasse et la soude qui ont été formées dès le commencement de la création des terrains primaires, l'eussent certainement absorbé, et les carbonates, qui manquent dans cette série de terrains, ou qui y sont à peine représentés, se seraient montrés dès le principe, si le carbone eût été répandu dans la couche de matière gazeuse qui enveloppait la terre.

Les premiers calcaires se déposèrent sous forme de grandes lentilles dans la formation de la grauwake, mais déjà, à cette époque, les premières dislocations du sol s'étaient opérées, de grandes fractures avaient eu lieu, et c'est probablement par les fentes produites que sortirent les sources abondantes et très-chargées de carbonate de chaux qui, en Europe, couvrirent la grauwake d'un vaste dépôt calcaire, et commencèrent ainsi la série carbonifère. Ce sont de tous les calcaires ceux qui ont atteint le plus grand degré de puissance, puisqu'ils ont quelquefois 250 mètres, ceux qui contiennent le plus de bitume, et dont la pesanteur spécifique est le plus considérable.

L'atmosphère était alors bien différente de ce qu'elle était lors de la formation des terrains primaires. Une grande quantité d'oxygène avait été absorbée ; l'azote, par conséquent, devenu prépondérant, rendait la vie animale moins active, et l'acide carbonique, en s'y mélangeant en grande quantité, s'opposa certainement au développement de nouvelles espèces, en arrêtant l'essor d'organisation qui avait pris naissance dans les eaux chaudes qui formaient les mers primitives.

Notre planète était assez refroidie pour que les saisons pussent marquer leur passage, l'évaporation et les pluies devaient se trouver en rapport, et avoir atteint une certaine limite qui permettait alors aux plantes de se développer, tandis qu'auparavant la fréquence des averses, ou plutôt leur force d'érosion, capable d'avoir produit les immenses dépôts de schistes et de grauwakes, devaient nécessairement s'opposer à la multiplication des plantes. Les mêmes causes de destruction n'existaient pas alors pour des animaux à branchies ou munis de tout autre organe respiratoire analogue, qui vivaient en nombre immense dans le fond des mers, abrités dans les golfes ou les bas-fonds.

Avant la fin du dépôt calcaire, les végétaux commençaient à paraître, et les amas de matière charbonneuse qui s'étaient déjà montrés au sommet de la grauwake, se reproduisirent aussi à la partie supérieure du calcaire qui précéda la houille. Ce ne fut, toutefois, qu'après ces premiers essais, que la végétation parut dans toute sa force, et, pour la première fois, les nouveaux continents se couvrirent de verdure et d'immenses forêts. Peut-être à cette époque de la première apparition des calcaires, les sources thermales furent-elles assez puissantes pour détruire quelques-uns des êtres organisés qu'elles nourrissaient, et pour donner à l'atmosphère une température assez élevée pour arrêter les pluies, et suspendre par conséquent les dépôts arénacés. On ne trouve en effet aucune couche de grès dans la grande assise du calcaire; cette dernière roche vient interrompre les sédiments de grauwake que l'on voit revenir au-dessus avec le titre et les caractères de grès houillers.

Si réellement cet effet a eu lieu (et il a pu se reproduire à différentes époques), toutes les conditions se trouvaient

réunies pour la plus active végétation. Des eaux chaudes entouraient les îles et les continents ; de la vapeur enveloppait les végétaux, et l'acide carbonique, abondamment répandu, pénétrait dans leurs nombreuses cellules, et y déposait son carbone. Les grandes averses qui ont si souvent raviné la terre, et qui ont contribué à la formation des grès, n'existaient pas. Les plantes ont pu se développer avec une grande facilité, et c'est seulement après le dépôt du calcaire et l'abaissement de température, que les pluies, devenues, comme auparavant, un des phénomènes habituels de notre planète, permirent la création de nouveaux grès, avant que l'eau ait pu dénuder le sol couvert d'une couche épaisse de végétation, et former de nouveaux fleuves pour en charrier les débris. Ce fut alors que se formèrent ces anciens deltas, qui constituent maintenant nos houillères, dont nous avons essayé ailleurs de décrire le mode d'origine.

Cette période géologique, extrêmement importante, est circonstanciée par l'immense développement des végétaux, et par un abaissement marqué dans la vie animale. Cette dernière observation est, du reste, une conséquence de l'autre ; car ce qui favorise la végétation nuit à l'existence des animaux, et la nature nous offre ainsi une série d'oscillations dans les degrés d'intensité de la vie végétale et de la vie animale, comme si elle avait essayé plusieurs fois avant d'atteindre l'état d'équilibre qui caractérise notre époque.

Le dépôt du grès rouge qui a succédé aux houilles est très-remarquable par sa puissance, qui atteint jusqu'à 200 mètres ; par sa couleur généralement rouge, que M. Omalius attribue à la suroxydation du fer, par une longue agitation, et par la présence des blocs assez volumineux qui com-

posent ses assises inférieures. Ce dernier caractère annonce un mouvement de translation assez rapide, lié peut-être à l'apparition de nombreux filons de porphyre, qui auront fracturé le sol en une multitude de points, et qui, en changeant les niveaux, auraient déplacé les eaux en leur imprimant une certaine vitesse. L'absence des débris organiques, à l'exception de quelques restes de plantes brisées, prouve encore un dépôt formé dans un liquide agité, et assez promptement pour que les êtres vivants n'aient pu s'y développer.

C'est pendant la création de ces anciennes couches du globe, que des injections ou plutôt des eaux thermales chargées de différentes substances, ont traversé, au moyen des fentes formées, tous ces dépôts antérieurs, et ont laissé des gîtes métallifères dans plusieurs roches cristallisées ou sédimenteuses.

Quand le grès rouge eut cessé de se déposer, il paraît que de nouvelles sources produisirent encore une certaine quantité de calcaire, ou du moins la formation du zeichstein vint recouvrir les grès dans plusieurs localités.

Pendant cette période, la végétation semble s'être considérablement ralentie. Il existait des Fucoïdes dans les eaux : il y avait aussi sur les continents quelques-unes des plantes qui venaient de former les houilles, et il paraît même qu'une nouvelle famille de végétaux, les Conifères, commençait à se montrer, si toutefois elle n'avait pas déjà pris un certain développement dans la période houillère, comme l'a presque prouvé M. Witham.

Plusieurs des mollusques que l'on a rencontrés au-dessous du terrain houiller, se trouvent encore identiques ou analogues dans ce second dépôt de calcaire; mais on voit la vie

animale revêtir des formes tout à fait singulières. Les poissons dont on n'avait trouvé que quelques débris dans les formations précédentes, se montrent ici avec plus d'abondance, et diffèrent totalement des espèces actuellement vivantes. On voit dans leur organisation une tendance vers les reptiles, et l'un de ces animaux, appartenant au genre Monitor, a déjà paru à cette époque reculée. L'atmosphère, débarrassée par la puissante végétation des houillères, de l'excès d'acide carbonique qu'elle contenait, permettait le développement de ces animaux des classes inférieures ; car les reptiles peuvent vivre dans un air encore chargé d'acide carbonique, et les poissons ne meurent pas dans de l'air qui contient seulement 10 pour cent d'oxygène. Cette tendance de forces créatrices vers les formes des reptiles auxquelles elles préludaient par l'apparition des premiers *poissons sauroïdes,* fut interrompue en Europe par les relèvements de terrain qui se manifestèrent dans le pays de Nassau, dans quelques parties de la Saxe, au Hartz, etc. Cette dislocation, qui a relevé les couches du zeichstein et du grès rouge, partout où elles se sont trouvées en contact avec les lignes de soulèvement, a arrêté, ou peut-être transporté dans d'autres contrées, l'émission des calcaires, et des grès sont venus de nouveau se déposer en puissantes assises. Ce sont les grès des Vosges et les bigarrés. Les premiers, que quelques géologues considèrent comme formation distincte, pourraient bien être parallèles au zeichstein, et avoir été disloqués par le même soulèvement que ces calcaires. Ils passent aux grès bigarrés qui, comme eux, sont sans fossiles, à l'exception des couches supérieures qui contiennent des végétaux. On y retrouve encore des plantes de la formation houillère, quelques Liliacées, et des Conifères qui deviennent assez fréquents. Il sem-

ble même qu'il y ait eu une petite recrudescence de végétation due à l'acide carbonique, que le zeichstein a répandu dans l'atmosphère, en arrivant, comme tous les calcaires, à l'état bicarbonate. Aussi des houilles, mieux désignées sous le nom de lignites, sont exploitées dans le grès bigarré.

Les calcaires reparaissent caractérisés par une grande quantités d'Encrines liliformis. Les sources qui les amenaient ont charrié une forte proportion de sel gemme et de gypse, qui forment des masses dans tous les dépôts de calcaire coquillier. Les Productus disparaissent, et l'on voit la nature s'essayer encore à de nouvelles formes animales, dont elle avait déjà montré quelques types. Les Bélemnites, les Gryphées, les Ammonites persillées, représentées par quelques espèces d'une autre section dans les assises précédentes, commencent à paraître dans le calcaire coquiller; les poissons sauroïdes reviennent encore, et l'on voit même deux nouveaux genres de reptiles, les *Plesiosaurus* et les *Icthyosaurus*. Les plantes disparaissent presqu'entièrement; on rencontre cependant pour la première fois un *Mantelia* appartenant à la famille des Cycadées. Les mêmes phénomènes se reproduisent pendant le dépôt des marnes irisées; mais comme le calcaire coquiller avait amené l'acide carbonique, la végétation des houillères se développe de nouveau, et plusieurs couches de houille sont exploitées dans cette formation.

Nous ne suivrons pas plus loin l'apparition des diverses formations calcaires, bien que, pendant la période jurassique, le dépôt de la craie, et, lors de la création des terrains tertiaires, de grands dégagements d'acide carbonique aient dû modifier encore l'atmosphère; mais nous croyons avoir suffisamment appelé l'attention des géologues

sur un sujet très-important, et tout à fait digne de leurs méditations.

Il n'est pas douteux pour nous que des masses de carbone, donnant naissance à l'acide carbonique des anciennes sources, n'aient été accumulées au-dessous des terrains cristallisés. Nous pensons que ce carbone primitif est loin d'être épuisé et qu'il fournira longtemps encore à ces dégagements continuels des sources minérales carbonatées.

Nous pencherions plutôt vers l'hypothèse du carbone pur brûlant encore sous la croûte privitive du globe que vers la supposition de réservoirs souterrains d'acide carbonique. On sait par les belles expériences de M. Thilorier que l'acide carbonique liquide ne se dissout pas dans l'eau, mais la surnage comme de l'huile; cet acide ne se liquéfie à 0 que sous une pression de 36 atmosphères, et à —20 sous la pression de 26. On sait encore que c'est le plus dilatable de tous les liquides; mais nous ne savons pas si cet acide peut, en raison de la température élévee de l'intérieur du globe, y exister sous l'un ou l'autre de ces états.

CHAPITRE XI.

Des Bitumes ou Carbures d'hydrogène.

La combinaison du carbone avec l'oxygène est, comme on vient de le voir, des plus importantes ; mais ce corps combustible si répandu dans la nature peut aussi s'unir à l'hydrogène en proportions très-différentes et donner naissance à des *hydrogènes carbonés* ou à des *carbures d'hydrogène* dont les uns sont *gazeux* tandis que d'autres sont *liquides* ou même *solides*.

Ces combinaisons accusent, comme l'acide carbonique, de grandes masses de carbone sous les terrains primitifs. Nous pourrions, au besoin, invoquer une théorie d'après laquelle l'eau décomposée par le charbon, produirait à la fois de l'acide carbonique et de l'hydrogène carboné. Ces réactions peuvent se produire aussi dans les phénomènes volcaniques, puisque M. C. St-C. Deville a constaté dans les émanations gazeuses du Vésuve la présence de l'hydrogène carboné. Mais rien de semblable n'a lieu dans les eaux minérales. Le bitume est pourtant un de leurs éléments, et nous sommes déjà loin de l'époque à laquelle on ne supposait pas que ce dernier produit pût avoir d'autre origine que la décomposition ou la distillation des matières organiques.

La présence des bitumes dans les eaux minérales est un fait que l'on ne peut révoquer en doute en Auvergne. Si les analyses ne parviennent pas toujours à les rendre sensibles,

l'odorat qui de tous les réactifs est le plus impressionnable avertit bientôt de leur présence.

Le bitume est disséminé d'une manière invisible dans toutes les assises du calcaire lacustre de la Limagne. Il y devient sensible par le frottement et se décèle par son odeur. Il paraît réparti à peu près également dans toute la masse ; mais il n'en est pas de même pour les autres roches qui entrent dans la composition du terrain tertiaire de l'Auvergne.

Dans les grès généralement placés sous les calcaires, le bitume manque parfois presque totalement, et d'autres fois il les imprègne au point de leur servir de ciment. On a un exemple de ce dernier cas, près de Clermont, à Chamalières, au lieu nommé l'*Écorchade*. La couche de grès, composée en grande partie de grains feldspathiques, est imprégnée d'une très-grande quantité de pissasphalte qui la rend noire, fusible et lui communique une odeur très-désagréable. Un peu plus loin le bitume diminue insensiblement. Dans le chemin des Voûtes, à une certaine distance de l'Écorchade, le grès à demi décomposé ne contient plus de bitume et se couvre d'efflorescences de sulfate de fer.

On voit encore du grès bitumineux au monticule de Cœur, au milieu de la Limagne, à Montpensier, près d'Aigueperse. Le bitume existe dans les fissures du calcaire près des eaux du Tambour ; à Dallet il remplit les tubes des calcaires à phryganes ; à Machal, près du Pont-du-Château, il enveloppe les moules de plusieurs espèces d'hélices et tient la place de leurs coquilles.

Les eaux de Médagues, près Jose, sont très-bitumineuses. Un trou de sonde dans la plaine du Salin amène au jour des eaux très-odorantes.

La matière organique et la matière bitumeuse ont quel-

quefois de grands rapports et très-probablement la même origine.

Toutefois, le gisement principal du bitume en Auvergne est dans les tufs, wakes et wakites que l'on rencontre à découvert sur le sol de la Limagne ; tous en contiennent en abondance, et dans plusieurs endroits il sort et coule naturellement comme au Puy de la Poix. On aperçoit sur les murs, tout autour de ce monticule, de larges taches noires produites par le bitume qui est sorti de la pierre, et l'on sent bientôt une odeur désagréable et très-forte qui indique l'approche de la source. Celle-ci sort d'un petit enfoncement situé sur le bord du chemin. On remarque à la surface de l'eau une couche de bitume à travers laquelle on voit se dégager des bulles abondantes de gaz sulfhydrique.

L'eau qui amène le bitume renferme une très-grande quantité de sel marin.

Le Puy de la Poix et ses environs sont, en Auvergne, les lieux où l'on rencontre la plus grande quantité de bitume ; mais on en retrouve aussi une assez forte proportion dans la wakite à gros grains du Puy de Crouel, au Pont-du-Château, à Malintrat et dans tous les wakites et pépérites de la Limagne. Dans la plupart de ces localités, il est accompagné de calcédoine guttulaire et de cristaux de quartz hyalin groupés en rosace.

Le bitume du Pont-du-Château a été analysé par Ebelmen. Il est remarquable en ce qu'il renferme 20 p. °/₀ d'eau. Cette eau, dit Ebelmen, paraît être intimement mélangée avec le bitume. Elle s'en sépare, en partie seulement, dans le vide froid, lorsque la matière se trouve réduite en poudre grossière. Le bitume débarrassé de l'eau est encore remarquable par la quantité d'oxygène qu'il renferme.

Hydrogène................	9,41
Carbone..................	76,13
Oxygène..................	10,34
Azote.......	2,32
Cendres..................	1.80
	100,00

Au puy de Cornolet, près du village de Cournon, on trouve du bitume qui sort des fissures de la wake qui forme le sommet du puy, et qui se dessèche en boules plus ou moins grosses. Ces boules sont creuses et paraissent formées par un peu d'eau que la chaleur du soleil a réduite en vapeur, qui a gonflé le bitume desséché dans cet état. Plusieurs produits volcaniques et notamment des basaltes, contiennent aussi du pissasphalte qui y devient sensible par le frottement. Il y a même certains granites dans lesquels le bitume est inappréciable par tous les moyens connus, et qui, pendant les jours chauds, communiquent à l'atmosphère ambiant une odeur assez forte.

Quant aux eaux, presque toutes celles de la Limagne en renferment une petite quantité, qui suffit cependant pour leur donner une saveur désagréable et les rendre insalubres en très-peu de temps, si elles sont stagnantes.

Nous pourrions citer en dehors de l'Auvergne une multitude de faits qui se rattachent soit aux éruptions bitumineuses soit aux dégagements de l'hydrogène carboné, si rapproché par sa composition des véritables bitumes, qu'on pourrait le considérer comme un bitume gazeux.

C'est ainsi que, dans une foule de localités, l'hydrogène carboné ou quelquefois sulfuré sort de terre et peut même s'enflammer. Humboldt en rapporte un exemple remar-

quable vis-à-vis la ferme de Cuchivano, où les flammes qui sortent d'une fente du terrain peuvent éclairer pendant la nuit les montagnes voisines. (*Voy. aux rég. équinox.*, t. 11, p. 89.)

Les feux de Pietra Mala, situés dans la région la plus élevée des Apennins, entre Bologne et Florence, sont célèbres depuis longtemps, et Lalande en a donné le premier une description exacte. « L'odeur de cette flamme, dit-il, m'a paru difficile à distinguer, à cause du vent qui l'emportait avec force; c'était une odeur qui tenait un peu du soufre ou plutôt de l'huile de pétrole... » (*Voyage en Italie*, t. 11, p. 135, éd. in-8°.)

Spallanzani a recueilli en neuf endroits différents les gaz qui servent d'aliment à ces feux, et partout il a constaté la présence de l'hydrogène. On cite aussi une fontaine ardente en Dauphiné.

On a décrit plusieurs fois les puits de feu de la Chine. M. Bertrand, missionnaire, a donné des renseignements très-curieux sur les puits salifères de ces contrées. L'eau de ces puits, véritables sources artificielles dont la profondeur est considérable, contient des chlorures de sodium, de calcium et de magnesium; aucune trace de sulfates, mais des traces évidentes de chlorhydrate d'ammoniaque et de matières organiques. Ces puits, au nombre de dix mille environ, occupent un espace de 50 lieues carrées et donnent du sel de temps immémorial. Les eaux-mères de ce sel contiennent du bitume sous des formes diverses et notamment du carbure d'hydrogène, d'un jaune pâle, désigné sous le nom de pétrolène.

Il se dégage en même temps de ces puits, creusés à 500, 600 et jusqu'à 1,000 mètres, un gaz très-inflammable,

qui est probablement de l'hydrogène carboné. (*Comptes-Rendus de l'Académie des Sciences*, t. XXII, p. 668.)

On voit encore par cet exemple que la formation de matière organique, ou du moins la combinaison du carbone et de l'hydrogène, doit s'opérer directement dans la nature, sans l'intervention des matières organisées.

Plusieurs gisements de bitume d'un grand intérêt ont été étudiés et décrits avec beaucoup de soin par M. Daubrée, au Bechelbronne et à Lobsann. Ce savant géologue a constaté, une fois de plus, l'association générale du sel, du bitume et du quartz, et de plus il a fait connaître la présence du fer et du calcaire.

M. Daubrée attribue le fer à des sources qui auraient réagi sur le calcaire, au point de substituer pour les fossiles le fer hydraté à la chaux carbonatée. Quelquefois c'est la silice elle-même qui a remplacé les formes organiques du calcaire.

Le bitume de ces localités a cela de remarquable qu'il imprègne de grandes lentilles de sables ou de grès au milieu de sables stériles, ou bien il est intimement uni au calcaire. Ces terrains contiennent aussi des veines de lignites, mais M. Daubrée ne leur attribue nullement la formation du bitume. Il pense que les sources salées et bitumineuses de ces contrées, et notamment celle de Soultz-sous-Font, riche en bitume, tirent leurs principes du terrain tertiaire.

Pour nous, la présence de ces sources et leur composition nous ferait supposer au contraire que toutes les couches non mécaniques de ce terrain sont le résultat d'eaux minérales qui auraient amené le sel, le bitume, le calcaire, le fer et la silice, ainsi que la grande quantité d'arsenic asso-

ciée au fer, et les sources actuelles, ici comme dans une foule d'autres localités, ne seraient plus que les restes affaiblis de ces anciennes émissions souterraines.

Presque tous les calcaires contiennent du bitume, et les plus anciens sont souvent ceux qui en renferment le plus. Le calcaire carbonifère du nord de la France et de la Belgique lui doit la coloration noire de ses marbres, tandis que ses veines et les moules de ses coquilles sont remplis de chaux carbonatée pure, blanche et cristallisée. On connaît partout des calcaires fétides et bitumineux ; M. Virlet a cité d'une manière toute particulière ceux de la Grèce, situés entre Navarin et Nisi, du milieu desquels suinte encore du bitume, et qui font partie du terrain de craie.

Le bitume des environs d'Alais est en rapport de gisement avec des sources bitumineuses qui coulent encore, et doit, selon nous, être considéré comme produit autrefois par ces sources et non comme un gisement traversé par ces sources et les rendant bitumineuses.

Les Salses ou volcans vaseux ont aussi des rapports marqués avec les dégagements de gaz inflammables et avec les sources minérales bitumineuses.

On connaît de ces sources dans plusieurs parties de l'Italie et même à une grande distance des volcans, dans les états de Modène, aux environs de Parme.

L'asphalte du Val-de-Travers imprègne le calcaire urgovien sur le bord de la Reuss, et la couche qui le contient varie de 2 à 8 mètres d'épaisseur. Il faut donc encore admettre ici une origine contemporaine du calcaire, et par conséquent un dépôt d'eau minérale bitumineuse.

M. Kersten a indiqué aussi en Dalmatie un gisement d'asphalte, dans lequel le bitume est engagé à raison de

7 pour cent dans une roche dolomitique du terrain jurassique.

Dans ces derniers temps des sources d'huile minérale d'une abondance extrême ont été découvertes, ou plutôt exploitées dans diverses parties de l'Amérique du nord, car on connaissait depuis longtemps la présence de ce bitume.

L'abondance de ce corps, dans le Haut-Canada, est un fait que nous ne pouvons rapporter qu'à des émissions provenant de l'intérieur du globe. L'intérêt qui s'attache à cette production a été excité encore dans ces derniers temps par un rapport qu'a fait sur ces exploitations de bitume, M. Gauldrée-Boileau, ingénieur des mines et notre consul au Canada. (*Ann. des mines*, 6e série, t. 2, p. 95, année 1862.)

Les sources de bitume ne sont pas rares, on en connaît dans toutes les parties du monde, et le bitume qui en sort varie entre le naphte presque pur, le pétrole plus ou moins dense et plus ou moins coloré, entre le pissasphalte plus ou moins épais et l'asphalte solide qui flotte sur les eaux de la mer Morte et sur un lac de l'île de la Trinité. Nous avons en Auvergne les aréoles d'huile de pétrole du puy de la Poix, le pissasphalte de la même localité et celui de Chamalières, le bitume asphalte des eaux du Tambour, etc. Mais ces faibles productions ne sont rien auprès du bitume du Canada et des Etats-Unis.

C'est en 1854 que l'on a commencé à exploiter le pétrole américain ; mais c'est seulement en 1861 que la grande production a commencé. On aura une idée de ces quantités de bitume par l'extrait suivant du rapport de M. Gauldrée-Boileau :

« Ces sources de bitume ont été découvertes à Oil-

Springs, au milieu de magnifiques forêts. On voyait le pétrole sortir de terre en différents endroits. Il bouillonnait et s'accumulait dans les cavités du sol, où il formait des espèces d'étangs naturels. En hiver, l'huile s'ouvrait un passage à travers des couches de glace de plus d'un pied d'épaisseur, et ces efforts étaient accompagnés de bruits souterrains qui se faisaient entendre à une certaine distance. »

« Au mois de juin de l'année 1861, un habitant de Port-Huron, du nom de Shaw, se mit à creuser un puits auquel il consacra tout son avoir, et qui atteignit la profondeur de 66 mètres sans lui donner le moindre résultat. Il était à bout de ressources et presque désespéré. Il allait être forcé d'interrompre ses travaux, d'y renoncer même, quand tout à coup, à une profondeur de 67 mètres, l'huile se mit à jaillir avec une abondance inouïe. Elle n'a pas cessé de couler depuis lors. Le puits de M. Shaw est le premier à écoulement continu qui ait été découvert dans la région d'Enniskillen. On ne savait d'abord comment contenir le pétrole qui débordait de toutes parts. Maintenant on a creusé de vastes bassins pour le recevoir, et l'on a établi des appareils destinés à modérer la production qui continuerait à être de 2,178 à 2,904 hectolitres par jour, si on ne la réglait pas. »

« Deux autres puits à écoulement continu ont encore été trouvés dans les derniers mois. Le premier donne environ 2,904 hectolitres, et le second 871 hectolitres. »

« Un quatrième puits, présentant les mêmes conditions, vient encore d'être découvert dans la même région. La veine d'huile minérale a été atteinte à une profondeur de 283 pieds, et le liquide a jailli à une hauteur de 24 pieds au-dessus de l'orifice du puits ; il a coulé à raison de 8 barils

par minute, 10,000 barils ont même été perdus avant qu'on puisse se rendre maître de cette sorte d'éruption de pétrole. Maintenant ce puits rend plus que tous les autres ensemble, et l'on peut juger, par ce nouvel exemple, de l'énorme richesse des réservoirs de pétrole d'Enniskillen et des pressions considérables auxquelles l'huile était soumise dans le sein de la terre. »

Ainsi voilà quatre sources de bitume qui rendent ensemble environ 12,000 hectolitres de bitume par jour, c'est-à-dire 1,200 mètres cubes, et, en multipliant ce nombre par celui des jours de l'année, on obtient le chiffre énorme de 438,000 mètres cubes de pétrole.

Une foule d'autres puits, qui produisent au moyen de pompes, versent aussi au-dehors du sol de fortes proportions d'huile minérale, à tel point que nous pourrions doubler cette proportion pour cette seule localité seulement et arriver à près d'un million de mètres cubes !

Or, pour avoir une idée de cette quantité, supposons un vase de la capacité du volume de la plus grande pyramide d'Egypte dont la base, comme on le sait, occupe une surface de plus de quatre hectares et qui cube six millions de mètres cubes, il ne faudra que six ans pour la remplir dans cette seule localité !

Certains puits ont laissé jaillir le pétrole à 6 et 7 mètres au-dessus de leur orifice, et rien n'indique que ces immenses réservoirs soient à la veille d'être épuisés. On connaît, d'ailleurs, en Asie, des sources plus anciennes que la découverte de l'Amérique et qui ne le sont nullement. C'est donc sur une échelle immense que s'est produit le pétrole dans cette contrée.

On y a trouvé aussi de l'asphalte, car M. Murray, l'un

des géologues provinciaux, a signalé, dans le même canton que les puits dont nous venons de parler, un dépôt de bitume solide couvrant, dans le voisinage des sources, une surface de plus de vingt ares, sur une épaisseur de 0^m 65. On a remarqué du reste que le pétrole exposé à l'air, et s'évaporant en absorbant l'oxygène, se transforme lentement en asphalte et peut même arriver à la consistance de certaines espèces de charbon.

Nous n'avons cité la production des bitumes que dans une seule localité américaine, mais indépendamment des sources de pétrole du Canada, les huiles minérales sont distribuées aux États-Unis, sur une vaste zone parallèle aux Monts Alleghany, c'est-à-dire orientée du N.-E. au S.-O., et s'étendant depuis le lac Ontario jusqu'à la vallée de la petite Kenhava, en Virginie. Cette bande comprend les comtés les plus occidentaux des États de New-York et de la Pensylvanie, un fragment de la Virginie au N.-O., et les districts de l'Ohio limitrophes à la rivière qui donne son nom à l'État.

On voit par ces citations l'immensité de la production de bitume ; il ne faudrait pas un an, si ces divers gisements étaient réunis, pour remplir la coupe immense que nous avons supposée, et l'on doit se rappeler que le sol n'a encore été percé que sur un petit nombre de points.

On se demande tout naturellement d'où peuvent provenir ces bitumes, quelles sont les circonstances de leur gisement, et quelle peut être leur origine! Le rapport de M. Gauldrée-Boileau nous donne encore sur ce sujet d'intéressants détails.

C'est dans les terrains de sédiment inférieur que se trouvent les sources de pétrole, dans les terrains siluriens et de-

voniens; toutefois les roches du silurien supérieur et du dévonien sont beaucoup plus riches en huile minérale que celles du silurien inférieur. Les gisements sont analogues aux États-Unis et au Canada. Les couches dans lesquelles on croit que le bitume est déposé dans le haut Canada, passent effectivement sous les formations carbonifères du Michigan, de l'Ohio et de la Pensylvanie, et paraissent également contenir des réservoirs comme ceux d'où provient l'huile minérale des États-Unis.

Le pétrole, dans la plupart des localités, a été trouvé dans des fissures à peu près verticales. Les roches qui les contiennent peuvent être horizontales ou légèrement inclinées, ou peuvent aussi porter les marques des révolutions à la suite desquelles elles ont été déplacées et rompues. C'est dans ce dernier cas qu'elles sont le plus crevassées. « Or, la richesse des terrains, dit M. Gauldrée Boileau, au point de vue de la production du pétrole, est en rapport direct avec le nombre des fissures qu'ils contiennent. C'est un fait insolite que de rencontrer de l'huile minérale dans des couches horizontales. On en a obtenu au contraire en grande quantité dans des couches plus ou moins inclinées. Mais les principaux gîtes qui aient été mis au jour, l'ont ordinairement été dans les couches où les traces de dislocation étaient évidentes. Les résultats donnés par des puits très-rapprochés les uns des autres ont d'ailleurs été très-différents, non-seulement pour la profondeur à laquelle le réservoir de pétrole a été atteint, mais pour la couleur et la densité de l'huile. A quelques pas de distance, la profondeur a plusieurs fois varié du simple au double. Dans un cas l'huile était d'une couleur jaune paille, dans l'autre elle était d'un vert foncé. Tantôt elle était accompagnée d'eau douce, tantôt d'eau

salée. Les émanation sde gaz, qui dénotent souvent la présence du pétrole, étaient loin aussi d'offrir des caractères identiques. On a cru remarquer que la plupart des fissures étaient pleines de gaz à leur partie supérieure, qu'au centre elles contenaient du pétrole, et que cette substance nageait sur de l'eau déposée dans le fond de la crevasse. »

« Les géologues cherchent l'origine des pétroles américains dans une sorte de fermentation lente des plantes marines et des détritus animaux de la période paléozoïque, fermentation effectuée à de basses températures et dans un milieu où l'air atmosphérique ne pénétrait pas. D'autres géologues opposent, il est vrai, à cette théorie, celle de la distillation lente et presqu'à froid des matières bitumineuses; aussi font-ils dériver les huiles minérales trouvées dans les bassins houillers de la Virginie occidentale et de la partie limitrophe de l'Ohio, des charbons bitumineux que renferme cette formation. »

Resterait à expliquer la présence ou plutôt l'abondance du pétrole dans les localités éloignées des houillères. Nous avouons d'ailleurs, ne pas comprendre une *distillation à froid,* si lente qu'elle soit. D'un autre côté, nous n'avons jamais vu la distillation de la houille à chaud produire rien de semblable aux bitumes naturels, ni les *Fucus* et autres plantes marines donner naissance à du pétrole. On a été entraîné à supposer aux bitumes une origine organique en comparant les analyses de ces différents corps combustibles à celle du bois et de la cellulose. En effet, les différences qui existent entre ces analyses proviennent des proportions relatives d'oxygène, comme on peut le voir dans le tableau suivant emprunté à M. Sterry Hunt, chimiste américain.

	Carbone.	Hydrogène.	Oxygène.
Cellulose...............	24	20,0	20,0
Bois..................	24	18,4	16,4
Tourbe..	24	14,4	9,6
Charbon brun...........	24	13,0	7,6
Lignite.................	24	15,0	3,3
Houille.................	24	10,0	3,3
Houille.................	24	8,0	0,9
Albert coal..............	24	15,9	1,6
Asphalte d'Auvergne......	24	17,7	2,2
Asphalte de Naples........	24	14,6	2,0
Bitume du Derbyshire.....	24	24,0	0,3
Bitume d'Idria...........	24	8,0	0,0
Pétrole et naphte........	24	24,0	0,0

Ces formules prouvent seulement selon nous le grand nombre de combinaisons différentes qui peuvent naître de l'union du carbone et de l'hydrogène. Elles prouvent que la nature dans ces vastes et profonds laboratoires, et sous l'influence de circonstances de température et de pression que nous ne pouvons avoir à notre disposition peut produire des carbures d'hydrogène comme elle produit de l'acide carbonique.

M. Berthelot n'est-il pas arrivé par d'ingénieux procédés à créer ces carbures, et osera-t-on maintenant conclure que l'alcool que la chimie fait de toutes pièces ne peut résulter que de la fermentation du sucre!

Les bitumes ainsi que le chlorure de sodium qui les accompagne souvent proviennent, comme les eaux minérales, de l'intérieur du globe et non de ladistillation des matières organiques. On en a la preuve dans ces sources que nous avons

citées en plusieurs endroits et qui sortent directement du terrain primitif.

Du moment où M. Berthelot a pu obtenir de l'alcool en faisant réagir l'hydrogène carboné et l'acide sulfurique, nous ne voyons pas pourquoi, dans des réactions quelconques que nous ne pouvons connaître et sous des pressions que nous ne pouvons produire, la nature ne ferait pas aussi des bitumes dans ses laboratoires souterrains.

Quand on songe que chacun des gaz désignés sous les noms de carbures d'hydrogène ou gaz des marais, gaz oléfiant, peut donner naissance par suite de ses métamorphoses, à un alcool, à des aldehydes, à des acides, à des combinaisons chlorurées, bromurées, etc., pourquoi n'admettrait-on pas que, sous certaines circonstances, ces corps pourraient se transformer en bitumes.

L'abondance de l'acide carbonique qui sort encore par torrents du sein de la terre permet de faire cette supposition. Les beaux travaux que nous venons de citer ont démontré la possibilité de la transformation des composés oxygénés du carbone en carbures d'hydrogène. On sait que M. Berthelot est arrivé au moyen de l'acide formique à des résultats des plus remarquables que nous ne pouvons indiquer ici, mais qui sont consignés dans les *Annales de chimie*, (3e série, t. LIII, p. 75.)

M. de Chancourtois, dans un mémoire présenté récemment à l'Académie des sciences, regarde aussi la plupart des produits bitumineux ou hydrocarburés comme des résultats plus ou moins directs d'émanations, c'est-à-dire des phénomènes éruptifs. Après des considérations relatives aux gîtes de bitume de Seissel et de Clermont, ainsi qu'aux exploitations de pétrole d'Amérique, il rattache ces pro-

ductions à plusieurs cercles du réseau pentagonal indiqué par M. E. de Beaumont. (*Comptes rendus de l'Académie des sciences*, t. LVII, p. 370.)

Pallas a rencontré aussi le bitume à la source de Neftenoi-Klioutch, en Sibérie. Cette source a la plus grande analogie avec notre Puy de la Poix. Le bitume s'y rassemble de même dans une cavité du sol. L'eau n'y gèle jamais et l'odeur du bitume s'y fait sentir de très-loin.

« Le dessus du petit bassin de cette source se couvre d'un asphalte noir et très-visqueux, qui a la couleur et la consistance d'un goudron épais; il se forme de nouveau et en peu de jours, chaque fois qu'on l'enlève. Il n'y avait que quinze jours qu'on avait emporté tout l'asphalte du bassin; il s'en était formé de nouveau et en si grande abondance, malgré la gelée, que j'en fis tirer six livres, sans compter tout ce qui, vu sa ténacité, s'était attaché à différents corps étrangers. Il y en avait plus d'un doigt d'épaisseur sur l'eau au pied de la montagne, mais cette épaisseur allait toujours en diminuant vers l'écoulement du bassin; ce qui prouve que l'eau en s'écoulant en entraîne toujours une partie. Toute la cavité de la source est tapissée de cet asphalte; le lit de terre dans lequel elle se trouve, et qui s'étend vraisemblablement très-avant dans la montagne, en est entièrement pénétré. »

« Lorsqu'on a fait enlever l'asphalte, on voit encore surnager au-dessus de l'eau une huile de pétrole très-fine, très-forte et très-pénétrante, mais en petite quantité. » (Pallas, *Voyages*, t. I, p. 151.)

On remarque aussi à la surface de l'eau du Puy de la Poix de petites taches de bitume liquide qui sont du naphte ou du pétrole.

Nous regardons du reste tous les bitumes comme ayant entr'eux la plus grande analogie. Le naphte, le pétrole, le pissasphalte, le retinasphalte et l'asphalte, tout aussi bien que les hydrogènes carbonés, ne diffèrent que par des proportions différentes de carbone et d'hydrogène et par leur état gazeux, liquide ou solide. L'asphalte que nous rencontrons en Auvergne, près des eaux du Tambour, a été amené par les eaux à l'état de pissasphalte et s'est durci par l'action de la chaleur solaire. Des masses d'asphalte existent aussi autour de la source du Puy de la Poix où l'eau salée n'a peut-être pas été étrangère à sa solidification.

Les grandes sources bitumineuses de la Palestine présentent absolument les mêmes caractères. Ce sont des sources salées et bitumineuses qui alimentent la mer Morte. L'asphalte qui y surnage par suite de la densité de l'eau saturée de sel a une cassure vitreuse, mais il a eu d'abord la consistance du goudron, et lorsqu'on se baigne dans cette mer, le corps est couvert de petits globules huileux semblables à du naphte. (*Observations sur la vallée du Jourdain et la mer Morte*, par John Sherwood de New-York; *Americ, journal of sciences et Bibl. universelle de Genève*, mars 1845.)

Ce sont, en grand, les mêmes phénomènes que ceux qui se manifestent en petit au Puy de la Poix.

Dans la plupart des exemples que nous avons cités, il y a connexion ou plutôt réunion du sel marin et du bitume, et souvent aussi de l'hydrogène sulfuré. Spallanzani avait déjà fait cette observation au sujet des salses de l'Italie.

Ménard de la Groie rapprochant un certain nombre de ces faits, croit que ces diverses matières inflammables prennent

naissance sous le dernier calcaire marin et sous l'argile calcarifère. (*Journal de Physique*, t. LXXXVI, p. 430.)

Ces idées ne peuvent guère être admises aujourd'hui, et il faut chercher aux bitumes et au sel marin, associés presque partout et principalement dans l'Océan, une origine hydro-thermale.

On a cru longtemps que le bitume ne pouvait provenir que de la décomposition des corps organisés, et, nous devons le dire, quelques gisements de bitume se montrent favorables à cette hypothèse. Ainsi l'Océan aurait recueilli son bitume de la décomposition de toutes les matières organiques qui s'opèrent dans son sein. Cette opinion est immédiatement réfutée par l'extrême abondance du bitume dans la mer Morte qui ne nourrit aucun être vivant.

On pourrait aussi invoquer la présence de corps organisés dans l'ancien lac de la Limagne pour expliquer l'odeur bitumineuse de ses calcaires, et surtout la présence d'une couche de bitume sur le moule des mollusques fossiles.

Le même bitume, à Dallet et dans quelques autres points, se montre pur dans les tubes de phryganes. Mais d'abord ni les Hélices, ni les larves de Phryganes n'auraient pu fournir par leur décomposition la quantité de bitume dont ils sont entourés. Et d'ailleurs nous avons de fortes raisons de penser que les Hélices étaient morts quand leurs coquilles vides ont été entraînées sur les bords du lac; les Phryganes avaient abandonné leurs fourreaux quand le calcaire incrustant est venu les saisir.

Les calcaires de Nonette près d'Issoire, également bitumineux à l'odorat, sont remplis de Potamides en calcaire cristallin qui ne contient pas de bitume. Nous voyons cette même élimination du bitume dans les marbres noirs de la

Belgique et du nord de la France, où tous les débris organiques marbrent en blanc une pâte noire et très-bitumineuse.

Nous avons cité dans la Limagne, à Montpensier, de petites couches chargées de bitume au milieu d'assises beaucoup plus épaisses qui en contiennent à peine.

La présence de débris organiques végétaux dans le calcaire lacustre, de bois carbonisé dans les wakes et les pépérites, ont fait supposer aussi que le bitume était formé par la décomposition de ces débris.

On a été plus loin pour expliquer la sortie du bitume à travers les pépérites de la Limagne. On a admis, et la chose peut être vraisemblable, un immense terrain houiller sous les calcaires de la plaine. On a invoqué ensuite l'arrivée des dykes de basalte, qui, perçant à la fois et le terrain houiller et toutes les assises plus modernes qui le recouvrent, auraient établi à la surface une distillation de bitume puisé dans la houille.

Malgré l'élégance de cette hypothèse, nous sommes encore forcé de la rejeter, car nous trouvons, sur le bord même de la Limagne, tout près de Clermont, à Chamalières, un gisement de bitume que nous avons déjà indiqué, lequel touche pour ainsi dire le granite, et le granite lui-même, aux environs de ce gîte, est imprégné de bitume.

Nous ne pouvons pas plus admettre la distillation du bitume des couches inférieures que l'origine du calcaire des eaux minérales puisé dans les terrains qu'elles traversent.

Nous regardons le bitume de la Limagne comme étant sorti en même temps que les eaux calcarifères des terrains primitifs.

S'il nous restait à cet égard quelques doutes, nous trou-

verions hors de l'Auvergne la preuve de ce que nous avançons. Nous empruntons les citations suivantes au célèbre Humboldt.

« A la péninsule d'Arnya (près Cumana), le naphte découle de la roche primitive même, et ce phénomène acquiert une nouvelle importance, si l'on se rappelle que le même terrain primitif renferme les feux souterrains, qu'au bord du cratère enflammé l'odeur du pétrole se fait sentir de temps en temps, et que la plupart des sources chaudes de l'Amérique sortent des gneiss ou du schiste micacé. » (Humboldt, *Voy. aux Rég. Equin.*, t. 2, p. 371.)

« Les sources les plus chaudes du monde sortent immédiatement du granite. Le pétrole jaillit du micaschiste. » (Humboldt, *id.*, t. 8, p. 196.)

« Nous passâmes de nouveau près de ces parages (Cu-
» mana) où du sein du micaschiste, au fond de la mer,
» jaillissent des sources de pétrole dont l'odeur se fait sen-
» tir de loin. Lorsqu'on se rappelle que plus à l'est, près de
» Curiaco, des eaux chaudes et sous marines sont assez
» abondantes pour pouvoir changer la température du golfe
» à sa surface, on ne saurait douter que le pétrole ne vienne
» comme par l'effet d'une distillation, d'une immense pro-
» fondeur, qu'il ne sorte de ces roches primitives, au-des-
» sous desquelles se trouve le foyer de toutes les commo-
» tions volcaniques. » (Humboldt, t. 9, p. 119.)

M. Virlet professe aussi l'opinion de l'origine plutonique des bitumes; ils sont venus pénétrer les roches qui les renferment. (*Bulletin de la Société géol.*, t. 4, p. 203.)

Il combat l'hypothèse de la distillation souterraine des houilles pour former les bitumes, cite un grand nombre de localités où l'on rencontre ces carbures d'hydrogène, et il

fait, au sujet de l'île de Zante, un calcul qui démontre l'impossibilité d'attribuer les mines de bitume que l'on y rencontre à la présence de la houille.

« Ces mines, dit-il, existaient déjà du temps d'Hérodote qui vivait dans le ve siècle avant notre ère ; comme elles fournissaient 100 barils de 100 livres environ par année, 2300 ans × 100 × 100 sera approximativement la quantité de livres d'huile qu'elles ont dû fournir depuis que cet historien les a décrites. »

M. Virlet dit avec raison que toutes les houillères du monde ne suffiraient pas pour alimenter les sources de bitume, et, à l'époque où il écrivait, on ignorait ces sources de pétrole si abondantes de l'Amérique du Nord.

M. Virlet en conclut que : « Si les débris organiques ont pu, dans quelques cas, donner naissance, par leur décomposition, à certains carbures d'hydrogène, il lui paraît bien démontré qu'ils n'auraient jamais pu produire la grande quantité de bitume qui se trouve répandue avec tant de profusion sur toute la surface de la terre. »

M. de Verneuil, d'après les observations qu'il a faites en Crimée et à Bakou, se range du même avis. (*Bull. de la Soc. géol.*, 2e série, t. 1, p. 800.)

M. Delbos, en parlant du bitume de Bastennes dans les landes dont ils imprègnent les sables incohérents, ajoute : « Si l'on étudie avec soin les excavations et les galeries dans lesquelles on exploite les sables bitumineux, on ne tardera pas à reconnaître que les infiltrations se sont faites de bas en haut, qu'elles ont imprégné toutes les matières incohérentes, et qu'elles ont, au contraire, entouré les roches dures, les coquilles, etc., sans pénétrer dans leur intérieur. Les choses ne se passeraient pas autrement dans un labora-

toire de chimie, si l'on soumettait à l'action du feu un vase contenant à sa partie inférieure des matières susceptibles de donner, par la distillation, des huiles ou des goudrons et dont le reste serait rempli de sables froids. » (*Bulletin de la Soc. géol.,* 2e série, t. 4, p. 724.)

Pour nous résumer, sans nier d'une manière absolue que les matières organiques puissent fournir des bitumes, puisque les houilles en contiennent ou en produisent d'assez grandes quantités par la distillation, nous regardons la majeure partie des bitumes de l'Auvergne et des autres contrées comme amenés, ainsi que la matière organique non bitumineuse, des profondeurs du globe par les eaux minérales.

L'acide carbonique peut avoir contribué à l'émission des bitumes. M. Gore, dans ses études sur cet acide liquide, a reconnu qu'il avait la propriété de dissoudre le bitume. (*Journal of chemical society*, t. XV, p. 163.)

Or les eaux minérales que nous connaissons et qui contiennent du bitume sont aussi des eaux chargées d'acide carbonique. Ne serait-ce pas au dégagement de cet acide que seraient dues certaines pellicules irisées plus ou moins bitumineuses qui viennent surnager après la perte de l'acide carbonique au contact de l'air?

M. Kulmann a publié récemment de curieuses expériences sur l'imprégnation de bitume qu'un grand nombre de minéraux peuvent éprouver. Ces expériences prouvent que bon nombre de substances sont colorées par du bitume et que certains corps peuvent aussi réduire ce bitume et le faire disparaître.

CHAPITRE XII.

De la Potasse. — De la Lithine. — Du Rubidium. — Du Césium. — Du Thallium. — De la Glucine.

—

DE LA POTASSE.

Cet alcali que les anciens chimistes nommaient *alcali végétal*, parce que les végétaux en contiennent toujours des proportions plus ou moins appréciables, existe aussi en très-grande quantité dans le règne minéral. Là, en effet, est sa véritable origine, car celui qui se trouve dans les végétaux ne peut provenir que du sol où les racines des plantes l'ont puisé par selection.

Il est très-remarquable que la plupart des roches primitives contiennent de la potasse, tandis que les eaux minérales qui s'en échappent n'apportent pour ainsi dire que des sels de soude. Ce fait est si général qu'il faut bien admettre que ces eaux vont puiser leurs principes en dessous des feldspaths à base de potasse.

Il existe cependant quelques eaux minérales dans lesquelles l'analyse indique des sels de potasse, mais pourtant cet alcali est probablement moins répandu dans les eaux que la lithine.

Nous pourrions citer de remarquables exceptions. Ainsi les salpêtres de l'Inde, qui viennent effleurir à la surface du terrain, ont été sans doute amenés par des infiltrations d'eaux minérales.

Des sources nitreuses très-abondantes existent aussi dans la Hongrie-Basse. Elles sont si abondantes que, selon Rückert, « ce pays pourrait fournir annuellement, et à plus bas prix, une fois plus de salpêtre que les Indes-Orientales n'en fournissent à toute l'Europe. » Cet auteur regarde ce salpêtre comme un produit du règne minéral. Il se fonde sur les raisons suivantes : 1°. la plupart des sources nitreuses sortent de la profondeur de 30 pieds ; 2°. on les trouve dans un espace de 60 lieues, partout où l'on creuse des puits ; 3°. ces sources existent depuis des siècles et sont si chargées de salpêtre que l'on ne peut s'en servir ni pour boire ni pour préparer les aliments ; 4°. tout ce salpêtre, préparé dans plus de 60 ateliers, se trouve dans des endroits où il ne paraît pas que des substances animales aient pu contribuer à sa formation. (*Journal des Mines*, t. 1, p. 121.)

Les eaux thermales alcalines abondent dans la Californie, à l'est de la Sierra Nevada, dans le pays de l'or. « Ces sources, dit M. Laur, sont presque toujours thermales, et à une température voisine de l'ébullition ; elles se réduisent quelquefois à un simple jet de vapeurs, mais quelquefois aussi comme à Pleasant-Valley, à l'ouest de Walker-River, elles donnent naissance à une petite rivière d'eau bouillante. Ces eaux sont rarement sulfureuses, plus souvent saturées d'acide carbonique ; elles déposent d'abondantes incrustations de calcaire ou de silice. Ces dépôts s'étendent souvent à plusieurs mille mètres de la source et arrivent à des épaisseurs de 2 à 3 mètres. Après ces dépôts, les eaux emmènent en dissolution des sels alcalins. Ces sels imprègnent tout le sol des basses plaines et s'y concentrent indéfiniment, ces plateaux n'ayant aucun écoulement vers la

mer. Aussi, pendant la saison sèche, toutes les plaines se couvrent d'efflorescences salines, certaines rivières se saturent de ces sels, et l'eau douce devient bien difficile à rencontrer. » (*Ann. des Mines*, 6e série, t. 3, p. 402.)

Ainsi s'expliquent par la présence d'anciennes sources minérales les efflorescences salines de plusieurs contrées du globe.

M. Laur a décrit le lac Mono, en Californie, comme un exemple remarquable de l'accumulation de sels alcalins. « Ce lac mesure 20 kilom. du nord au sud et 30 au moins de l'est à l'ouest. Il est extrêmement profond du côté de l'ouest. A son centre s'élèvent deux îles ou plutôt deux rochers de basalte qui dépassent de quelques mètres à peine le niveau de ses eaux. Du milieu du rocher du nord, s'élève une haute colonne de vapeur d'eau : il s'en écoule aussi d'abondantes eaux chaudes qui paraissent avoir apporté au lac d'énormes masses de sels alcalins qu'il renferme aujourd'hui. Ces eaux laissent à l'évaporation 4 1/2 pour cent de ces sels, et dans ce résidu la soude figure pour 43 pour cent et la potasse à raison de 10 pour cent. (*Ann. des Mines*, 6e série, t. 3, p. 402.)

LITHINE.

Pendant longtemps, la lithine a été considérée comme une base très-rare, existant seulement dans quelques minéraux et dans quelques eaux minérales. Depuis l'emploi de l'analyse spectrale on la trouve partout : dans un grand nombre d'eaux minérales, dans les eaux de la mer, dans les calcaires, dans les quartz et dans les feldspaths et jusque dans les aérolithes.

M. Grandeau a constaté partout dans l'eau de mer la

présence de la lithine. Il n'a pu y rencontrer ni le rubidium, ni le césium, ni la strontiane, bien que cette dernière base soit facilement décélée dans les incrustations des machines à vapeur alimentées par l'eau de mer. Quant aux eaux-mères des salines, il résulte de leur examen par M. Grandeau, que certains bancs de sel gemme renferment des quantités assez notables de rubidium associé à la lithine et à la potasse, tandis que le nouveau métal fait complétement défaut dans les sels de l'est de la France.

DU RUBIDIUM, DU CÉSIUM ET DU THALLIUM.

La recherche du rubidium et du césium dans les eaux minérales n'a pu avoir lieu que par l'analyse spectrale ; mais, depuis lors, on est parvenu à obtenir ces alcalis en quantité suffisante pour étudier quelques-uns de leurs sels.

M. Grandeau, dans sa thèse remarquable sur ces nouveaux métaux, signale leur présence dans les eaux-mères de plusieurs sources salées.

Sur 1,000 grammes, les eaux-mères des sources salées de Dürkheim contiennent :

Chlorure de rubidium.......	0g00021
— de césium........	0,00017

La source d'Ungemach renferme pour 10,000 grammes,

Chlorure de rubidium.......	0g013
— de césium........	traces.

« En résumé, dit M. Grandeau, jusqu'ici on n'a rencontré le rubidium et le césium que dans des matières minérales contenant de la lithine en quantité souvent considérable. Les cinq métaux alcalins : lithium, sodium, potassium, rubidium et césium, s'accompagnent généralement

dans le sein de la terre et dans les eaux minérales. Certains végétaux jouissent de la propriété de s'assimiler deux ou trois de ces métaux seulement, et laissent les autres dans le sol. » (*Ann. de Chimie*, 3ᵉ série, février 1863.)

M. Grandeau a signalé l'existence du césium, du rubidium, de la lithine, de la strontiane et de l'acide borique dans les eaux de Bourbonne-les-Bains dans la Haute-Marne.

Le thallium ayant déjà été observé par M. Crookes dans le soufre natif de Lipari et dans les pyrites du Hartz, il est probable que l'on ne tardera pas à le rencontrer dans les eaux minérales. M. Boettger le signale même dans un mélange salin provenant des eaux-mères des salines de Nauheim.

L'absence de la raie verte dans les expériences qui ont pour but la recherche de ce métal dans les eaux, ne prouve pas d'une manière absolue que ce corps simple n'y existe pas. Mon savant collègue à la faculté des sciences de Nancy, M. Nicklès a trouvé qu'il y a des combinaisons thalliques qui ne possèdent pas la propriété de colorer la flamme en vert et de développer la raie spectrale caractéristique ; ce sont précisément les combinaisons contenant du sodium et notamment du chlorure de sodium. Par sa flamme et sa raie jaunes, ce chlorure occulte complétement la raie verte. Or, comme le sodium et son chlorure existent dans un grand nombre d'eaux minérales, il faudra pour découvrir le thallium dans les eaux-mères, par l'analyse spectrale, le dégager d'abord des sels de soude qui s'opposeraient à l'apparition de la raie verte.

DE LA GLUCINE.

L'oxyde de glucinium n'a pas encore été signalé dans les

eaux minérales, mais il existe dans quelques minéraux dont l'origine hydro-thermale ne paraît guère douteuse.

Un mémoire très-intéressant de M. Lewy tend à faire considérer l'émeraude comme un produit des eaux minérales. L'étude que ce savant a fait du gisement de cette espèce qui se trouve, comme on sait, dans un calcaire bitumineux, et les analyses de ce calcaire et de l'émeraude qu'il renferme ne laissent aucun doute sur la formation contemporaine de l'émeraude et de sa guangue. M. Lewy signale à peine quelques millièmes d'oxyde de chrôme dans cette pierre précieuse, et il attribue sa magnifique coloration à une matière organique qui serait un carbure d'hydrogène. Il fonde cette opinion sur ses analyses d'abord, et ensuite sur une comparaison entre l'émeraude et l'*Ouwarovite*. Ce grenat chromifère renferme, d'après les analyses de M. Damour, 23,5 pour cent d'oxyde de chrôme, et présente la même couleur que l'émeraude elle-même qui n'en contient au plus que des dix millièmes. En chauffant l'Ouwarovite au chalumeau, elle ne perd ni sa couleur ni sa transparence, tandis que l'émeraude devient incolore ou opaque au rouge sombre.

En plus de cette matière organique, l'émeraude contient encore de l'eau. M. Léwy la considère comme formée par voie humide.

C'est dans le calcaire de Muso, Nouvelle-Grenade, que se trouvent les échantillons analysés par M. Lewy. Une foule de cristaux microscopiques de cette gemme existent dans ce calcaire qui présente, du reste, tous les caractères des calcaires déposés par les eaux minérales. Voici sa composition :

Carbonate de chaux	47,8
— de magnésie	16,7
— de protox. de manganèse	0,5
Silice	24,4
Alumine	5,5
Glucine	0,5
Sesqui-oxyde de fer	2,6
Pyrite	0,6
Alcali	2,6
	101,2

(*Ann. de chimie*, 3e série, t. 53, p. 5.)

Ainsi la glucine, comme la chaux et la magnésie, doit son origine à des eaux souterraines et probablement thermales.

D'après de Humboldt, les belles émeraudes de Santa-Fé de Bogota se trouveraient dans un filon de chaux carbonatée, lamelleuse, blanche, où elles sont accompagnées de fer sulfuré.

M. Ville a cité aussi près de Blidah des émeraudes enchâssées dans du gypse et dans un calcaire cristallin. Il ajoute que quelques petits îlots de roches plutoniques ont fait irruption à travers ces couches calcaires et gypseuses; mais il nous semble que ces émissions ont été précisément la cause de la sortie d'eaux minérales qui ont déposé le gypse, le calcaire et les émeraudes.

Depuis la publication du Mémoire de M. Ville, M. Descloizeaux a reconnu que les cristaux considérés comme des émeraudes étaient des tourmalines vertes qui sont également très-rares.

CHAPITRE XIII.

Des Sels de soude et du Chlorure de sodium.

Si la potasse domine dans les roches primitives qui forment l'écorce du globe, c'est la soude, au contraire, que l'on rencontre le plus généralement dans les eaux minérales.

Nous ne pensons pas que l'on puisse trouver dans ces eaux cet alcali à l'état caustique, à cause de sa tendance à former des combinaisons, même avec la matière organique qui existe presque toujours dans ces eaux. Pourtant la soude a été constatée en grande quantité par M. Damour dans les eaux des geysers d'Islande.

Plusieurs de ces eaux contiennent autant de soude que de silice.

Le sodium peut s'unir au soufre et constituer un monosulfure assez fréquent dans un grand nombre de sources et dont nous avons déjà parlé en nous occupant du soufre.

Les combinaisons à base de soude que nous avons à examiner sont :

Le carbonate de soude ;
Le sulfate de soude ;
Le nitrate de soude ;
Le chlorure de sodium.

Comme complément de l'étude de ce chlorure si abondamment répandu dans les eaux minérales, nous aurons à

étudier l'eau de mer qui est la réunion générale de toutes les eaux minéralisées.

CARBONATE DE SOUDE.

L'union de l'acide carbonique et de l'oxyde de sodium se présente dans un très-grand nombre d'eaux minérales, et c'est à l'état de bicarbonate que le sel sort avec l'eau.

Il arriverait souvent sans doute que la température élevée des eaux pourrait décomposer ce bicarbonate et en dégager une partie de l'acide, mais la haute pression qui s'exerce dans l'intérieur du globe s'oppose à cette séparation. Nous pensons néanmoins qu'une partie de l'acide carbonique dégagé à la sortie par certaines eaux thermales provient de cette décomposition.

En dehors des analyses, il est très-difficile de reconnaître le carbonate de soude ou *natron*, à cause de son extrême solubilité. Nulle part, il ne se dépose ; il suit les cours d'eau et descend dans la mer, s'il n'a pu trouver sur son passage l'occasion d'une combinaison, et cependant les quantités versées sur la terre par les sources alcalines sont considérables.

Dans quelques contrées, une évaporation active solidifie le carbonate de soude et le rend visible. Tels sont les lacs de natron de l'Egypte.

« Ces lacs contiennent en dissolution du sesquicarbonate de soude, du chlorure de sodium et du sulfate de magnésie; ils sont alimentés par une infinité de petites sources salines qui sont toutes situées sur leur versant oriental. Les lacs de natron ne sont, en un mot, que des bassins où s'évapore l'eau peu chargée de sels qui y est versée par ces sources, et où cristallise, depuis des siècles, le résidu de cette évaporation. »

« L'eau des sources ne marque jamais plus de 1° à 1°5 à l'aréomètre de Baumé, tandis que l'eau des lacs est à 28, à 30°. » (F. d'Arcet, *Comptes-Rendus des séances de l'Académie des sciences*, t. XXI, p. 579.)

Si le lac de la Limagne eût été plus petit et sans courant, si des sources éminemment calcarifères ne l'eussent comblé de dépôts insolubles, nous aurions vu sans doute, pendant l'été, le natron effleurir et se solidifier, car toutes les sources de cette région produisent ce carbonate. Les eaux de Vichy à elles seules versent encore 3,075 kilogrammes de ce sel en 24 heures, ou l'énorme masse de 1,122,375 kilogrammes dans une année.

Nous pouvons sans crainte doubler et quadrupler leur puissance à l'époque des dépôts tertiaires, et nous arrivons à une énorme proportion de carbonate de soude, à une véritable production de natron.

Nous trouvons des traces de ce sel dans plusieurs de nos calcaires, et notamment à Machal près du Pont-du-Château. Là existe une assise d'une assez grande épaisseur et qui est recouverte par une grande masse de pépérite. Ce calcaire se couvre sur plusieurs points d'efflorescences de carbonate de soude blanc et anhydre.

Des lacs nombreux dans la Hongrie produisent, comme ceux d'Egypte, des quantités considérables de natron que l'on emploie directement à la fabrication du savon. D'autres lacs donnent naissance à du sulfate de soude. Les sables et la terre végétale sont imprégnés de natron, et cette dernière acquiert de ce mélange une extrême fertilité. Le carbonate de soude, qui existe dans tous nos calcaires de la Limagne, peut aussi contribuer à la fertilité du sol qui les recouvre.

SULFATE DE SOUDE.

Après le chlore et l'acide carbonique, c'est à l'acide sulfurique que la soude se combine le plus habituellement dans les eaux minérales. L'extrême solubilité de ce sel fait qu'il est entraîné immédiatement par les cours d'eau comme le sulfate de magnésie, et comme ce dernier, il peut être souvent décomposé par son contact avec les carbonates calcaires.

Nos eaux françaises ne contiennent le plus ordinairement que de petites quantités de ce sel. Les eaux d'Uriage en renferment cependant plus d'un gramme par litre, tandis que la plupart des autres n'en ont que quelques décigrammes.

Bon nombre de sources étrangères en ont au contraire d'assez fortes proportions presque toujours unies au sulfate de magnésie.

Les eaux de Carlsbad (en Bohême) en contiennent 2 grammes 1/2 par litre ; celles de Cheltenham (en Angleterre), 2 grammes ; celles de Friedrichlshall (en Saxe), 7 grammes ; celles de Pullna de 16 à 20 grammes ; celles de Saidschutz (en Bohême) en renferment plus de 6 grammes.

Le sulfate de soude constitue sur plusieurs points de l'Espagne une véritable roche. Entr'autres localités, M. de la Jonkaire le cite près de Lodosa, petite ville située à la limite de la Navarre et de la vieille Castille. « Le sel y est assez pur et s'y trouve en masse considérable. »

« On le trouve encore entre les deux montagnes de Saint-Andrian et d'Alcanadre où il constitue une suite de petits amas lenticulaires, qui atteignent jusqu'à 7 à 8 mètres d'épaisseur, et qui d'autres fois disparaissent et ne sont représentés que par des argiles salées. A Alcanadre, on peut

suivre, le long de la falaise qui borde le fleuve, un amas de sulfate de plus de quatre kilomètres. » (Lettre à M. E. de Beaumont, *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, t. xxxxv, p. 18.)

L'association de ce sulfate de soude avec le gypse, le chlorure de sodium et les marnes salées ne laissent aucun doute sur sa production par des eaux minérales.

DU NITRATE DE SOUDE.

Le nitrate de soude a été découvert il y a environ 40 ans, par Mariano de Rivero dans une partie du Pérou. « Il forme là une couche de plusieurs pieds d'épaisseur qui, dans plusieurs endroits paraît à la surface du sol, et qui occupe une étendue de plus de 40 lieues. Le sel y est tantôt en efflorescences, tantôt cristallisé et le plus souvent confusément mélangé avec de l'argile et du sable. Il contient un peu de sulfate de soude. »

Doit-on réellement attribuer à des eaux minérales la formation, toujours superficielle des nitrates? ne devrait-on pas plutôt expliquer leur présence dans certains terrains à la combinaison directe de l'azote et de l'oxygène en présence d'une base énergique telle que la chaux, la soude ou la potasse, soit que ces deux gaz proviennent directement de l'atmosphère, soit que l'eau qui imprègne les terrains légers et nitrifères les contiennent en dissolution. Tout en acceptant le rôle assez énergique des matières animales dans la nitrification, nous ne pouvons supposer ni la présence ni l'action de ces matières dans les grandes nitrières des Indes, de Ceylan, du Pérou, ni même dans celles de l'Espagne.

Dans un de ces gisements, au Pérou, le nitrate de soude est accompagné de sel gemme fibreux, de sulfate de soude

et d'iodures alcalins. Il n'est pas douteux avec ces caractères et avec la présence de petits lits de marnes intercalés, que ce nitrate ne soit un produit des eaux auxquelles les matières animales sont tout à fait étrangères.

LE SEL MARIN OU CHLORURE DE SODIUM.

Les eaux les plus pures qui coulent à la surface du globe contiennent du sel marin en quantité appréciable. Nos eaux d'Auvergne, les sources qui filtrées à travers les scories volcaniques, produisent à l'extrémité des coulées volcaniques des eaux si limpides, renferment par litre quelques centigrammes de sel marin.

Nous ne pouvons attribuer ce principe à des émissions minérales directes; nous ne pouvons non plus le trouver ni dans les granites qui forment le fond d'écoulement, ni dans les sables et graviers recouverts par la lave, ni dans les scories à travers lesquelles l'eau est forcée de s'infiltrer.

Nous n'ignorons pas que les volcans en activité produisent beaucoup de sel marin; nous savons que les laves en renferment souvent dans leurs fissures, et nous supposons que les volcans d'Auvergne comme ceux de l'Italie ont pu donner naissance pendant leurs éruptions à des quantités de chlorure de sodium.

Mais depuis lors, des eaux pures ont lavé ces produits volcaniques, et cela pendant une série de siècles assez longue, pour qu'il ne reste plus la moindre trace d'un sel aussi soluble que le muriate de soude.

C'est donc dans l'eau de pluie qu'il faut chercher la trace de ce sel; c'est dans les nuages dont les vapeurs absorbées par nos pics volcaniques alimentent nos sources qu'il faut admettre la présence du sel marin.

A cet égard les réactifs nous donnent raison. Les pluies, les grêlons chassés par le vent d'ouest, donnent des traces de sel marin. L'eau des mers que le soleil évapore entraîne constamment des parcelles de ce chlorure, et si les pluies qui tombent sur les rivages, rendent bientôt à l'Océan les parcelles salées enlevées par l'évaporation, celles qui tombent à une certaine distance ne sont pas tellement épurées, qu'elles n'en aient retenu des quantités infiniment petites.

Mais rien n'est perdu dans la nature, nos sources et les ruisseaux qu'elles forment, rentrent, après de longs détours, dans le bassin dont l'évaporation les avait enlevées.

Cette circulation du sel paraîtra plus merveilleuse encore, si l'on songe que l'Océan n'a pu être salé que par des eaux minérales, et qu'en définitive, nos limpides fontaines doivent indirectement à ce grand phénomène de la thermalité des eaux le peu de sel qu'elles renferment.

Les eaux minérales, à peu d'exception près, contiennent du sel marin. Il y a même des eaux froides qui en renferment d'assez grandes quantités pour qu'on puisse l'exploiter.

Il existait en 1800 à Reichenhall, petite ville située sur la frontière occidentale de la Bavière, une source salée débitant 184 mètres cubes en 24 heures, et contenant une énorme quantité de sel, évaluée à deux cent mille quintaux. Il est bien difficile d'admettre que les eaux pluviales puissent dissoudre ainsi depuis des siècles des masses de chlorure de sodium et en retrouver toujours d'égales quantités sur leur passage.

La source salée de Salies (en Béarn) ne renferme pas moins de 200 grammes de chlorure de sodium par litre (Filhol).

Nous pourrions citer une multitude de sources qui contiennent d'énormes proportions de chlorure de sodium. De nombreux forages ont donné naissance aussi à des émissions artificielles de sources salifères. Or, comme il n'existe en mouvement sur le globe que les eaux vaporisées, les eaux de sources et les eaux courantes, puisque toutes ces eaux contiennent du sel, et que ce sel est très-soluble, aussi soluble à froid qu'à chaud, il doit y avoir sur la terre des points où le sel s'accumule.

Ces points sont l'Océan et les lacs; en définitive, toutes les eaux se rendent dans ce grand bassin ou dans les bassins partiels. Là, l'évaporation agit constamment, mais les parcelles salines entraînées par la vapeur d'eau ne sont rien, comparées à la quantité qui reste, et comme les cours d'eau amènent constamment ces matières salines, il arrive une époque où l'eau se trouve saturée. Il en serait toujours ainsi pour les lacs, si l'eau qui vient s'y rendre ne pouvait s'en échapper et s'y évaporait complétement. C'est ce que l'on voit dans la mer Morte, et dans plusieurs lacs de l'Afrique et de la Sibérie. Le plus ordinairement les lacs sont ouverts, ce sont des bassins de dépôt et de sédimentation, et la perte de liquide due à leur surface d'évaporation n'est rien en comparaison de la quantité d'eau qui s'échappe par le trop plein. Ce sont alors des lacs d'eau douce comme le lac de Genève et nos lacs d'Auvergne.

Il est facile de concevoir que des lacs salés sans issue doivent arriver avec le temps à leur point de saturation, et laisser déposer leurs sels, au moins, pendant les temps de sécheresse. C'est en effet ce qui arrive.

Mais nous pouvons aller plus loin, et admettre à certaines époques géologiques une dessication complète. Nous pou-

vons alors nous rendre compte de ces grandes lentilles de sel gemme, de la matière colorante organique qui les pénètre quelquefois et surtout des lits d'argiles ou de marnes salifères qui s'y trouvent intercalés. C'est le sel réuni d'anciennes sources minérales, c'est le fond salé et vaseux de lacs ou de mers partielles desséchés par suite de la cessation des sources ou par suite d'une évaporation qui l'emportait sur l'alimentation.

La grande altitude de certains lacs salés de l'Amérique et notamment du Mexique, du Pérou et de la Bolivie, altitude qui dépasse parfois 2,000 mètres, ne permet guère de supposer qu'ils ont eu communication avec la mer et qu'ils sont des restes de bassins salés autrefois réunis à l'Océan. Ces lacs qui plus tard, en perdant leurs eaux par l'évaporation, laisseront des lentilles de sel gemme, ne peuvent être alimentés que par des sources minérales.

Les sources salifères actuellement existantes, ne sont pas produites par des eaux qui traversent des terrains de sel gemme; ce sont les restes amoindris des sources qui ont amené ce sel gemme de l'intérieur du globe. Elles sont les dernières manifestations d'émissions bien plus abondantes appartenant aux époques géologiques antérieures.

Il existe dans plusieurs localités de ces sources salées qui, depuis des siècles, amènent des quantités de chlorure de sodium. Une des plus remarquables, la source de Dieuze, est citée par Monnet comme fournissant 576 mètres cubes d'eau salée en 24 heures et donnant par cent kilogrammes ou cent litres 16 kilogrammes de sel. Ce qui fait par 1,000 litres ou par mètre cube 160 kilogrammes ou 92,000 kil. par 24 heures.

Aujourd'hui la source produit 770 mètres cubes d'eau par

24 heures, ce qui augmente encore la quantité de sel. Mais, d'après M. Levallois, l'eau contient, outre le chlorure de sodium, du chlorure de magnésium, du sulfate de magnésie, du sulfate de chaux et du sulfate de soude.

C'est dans les marnes irisées de la Lorraine que se trouve cette source, et ce terrain renferme de telles masses de sel gemme, que si ce produit n'était pas soluble, il fournirait les plus magnifiques pierres de construction que l'on puisse obtenir.

L'ensemble des couches de ce sel constitue une épaisseur qui atteint jusqu'à 65 mètres, c'est-à-dire qu'il y a bien peu de houillères qui présentent une semblable puissance, et encore nous ne savons pas si des couches de sel n'existent pas à Vic ou à Dieuze à une plus grande profondeur.

Le gypse et la dolomie se montrent aussi entre les couches de sel au milieu des marnes, et de petites couches de celles-ci sont imprégnées de bitume. Evidemment il y a connexion entre ces divers produits; mais si le gypse est disséminé sur une foule de points dans ces marnes, le sel gemme n'occupe qu'un seul bassin où il s'est considérablement étendu.

« Il est extrêmement probable, disent les auteurs de l'*Explication de la carte géologique de France*, que la source de Dieuze et les autres sources salées de la contrée, tirent les sels dont elles sont chargées des bancs formés ou imprégnés de substances analogues qui se trouvent dans le terrain. Il est cependant à remarquer que les eaux, en circulant dans l'intérieur du sol, ne peuvent dissoudre que la surface supérieure des bancs de sel gemme, puisque la sécheresse presque absolue des travaux d'exploitation mon-

tre qu'elle ne pénètre pas dans l'intérieur des masses. Elles peuvent dissoudre en outre le sel répandu dans des marnes qui recouvrent le sel gemme en bancs continus. Ce qui paraît certain toutefois, c'est que les vides qu'elles laissent dans le sol, en en dissolvant les parties constituantes, sont assez considérables pour y produire des cavités et, par suite, des affaissements. Telle est du moins la seule explication que l'on puisse donner de certains trous qui existent dans les environs de Dieuze, et que l'on dit avoir été formés par l'affaissement spontané du terrain. Un seul de ces trous est de formation contemporaine; il date de 1809; mais quelques recherches que M. Levallois ait faites, il n'a rien pu apprendre sur les circonstances de cette formation. On dit seulement que la profondeur était beaucoup plus grande dans l'origine; et ces sortes de trous portent, en effet, dans le pays, le nom de trous sans fond. »

Il est bien difficile d'admettre que les sources salées puisent leurs éléments dans les terrains qu'elles traversent, comme le pensent les savants auteurs de la *Carte géologique de France*. Il nous semble plus conforme aux faits de regarder ces sources actuelles comme les restes des grandes émissions salifères qui ont eu lieu pendant la période du trias. Le bitume, le gypse, la dolomie, sortent encore du sol de nos jours avec des eaux minérales, et nous trouvons en Auvergne, au Puy de la Poix, tous ces principes en connexion intime.

Où chercher d'ailleurs l'origine de ces couches si nombreuses et si épaisses de sel gemme qui constituent une partie du sol de la Lorraine, si nous n'accordons pas aux eaux minérales la faculté de les amener de l'intérieur du sol? Il est évident pour nous qu'à une certaine profondeur, sous

l'écorce extérieure du globe, il existe des chlorures, car le chlore est un des éléments les plus répandus. Toutes les eaux minérales contiennent des chlorures, et l'on ne peut supposer qu'elles aient toutes rencontré sur leur passage des bancs de sel gemme pour les leur fournir.

Il est arrivé dans la série des âges du globe une époque où la zone de réaction chimique, placée sous l'écorce de la terre, a fourni ces chlorures en abondance. Cette époque est principalement celle des marnes irisées, et c'est de cette époque seulement que date la grande salure de la mer. Ce n'est réellement qu'au-dessus du trias que l'on peut séparer nettement les productions marines de celles des eaux douces et saumâtres qui vivaient auparavant.

Des causes locales ont interrompu à diverses reprises les émissions salines comme elles ont modifié aussi l'apparition des sources calcarifères; mais en faisant abstraction de la nature des produits, les faits se sont passés exactement de la même manière. Ce sont des sources qui ont amené le sel, le gypse, la dolomie, le calcaire, c'est-à-dire tous les précipités chimiques, toutes les matières condensées des terrains sédimentaires. Ces sources, dans lesquelles tel ou tel produit dominait, ont dû souvent s'épancher sous les eaux de l'Océan où peut-être elles coulent encore depuis une longue série de siècles. Quelquefois, comme à Dieuze, elles ont coulé dans des lacs. Mais il ne faut jamais perdre de vue que dans la plupart des dépôts non directement plutoniques, deux forces de création étaient toujours en présence : les émissions chimiques provenant des profondeurs du globe et les dépôts mécaniques résultant du lavage des terrains et de la destruction du sol par les pluies et les cours d'eau.

Quand on considère l'inégalité d'épaisseur des différentes couches superposées d'un même bassin, quels que soient les matériaux qui les composent, on est toujours amené à reconnaître dans les causes qui ont présidé à leur formation, des inégalités en rapport avec leur différence de puissance. Il est certain qu'à Dieuze des intervalles de tranquillité ont permis au chlorure de sodium de se déposer presque pur, sans trouble et sans arrêt. Il est certain aussi que de temps en temps d'autres causes ont amené mécaniquement les éléments des marnes, et que ces causes, très-probablement atmosphériques, étaient assez énergiques pour masquer momentanément la formation du sel. Celle-ci cependant n'était pas arrêtée, elle continuait, puisque les marnes sont presque toujours salées et bitumineuses entre les couches de sel.

Ce sont les mêmes phénomènes qui ont eu lieu dans les bassins calcaires où l'on voit alterner des couches de carbonate de chaux et des lits plus ou moins épais d'argiles.

Dans le premier cas les sources étaient salées, dans le second elles étaient calcarifères; dans d'autres circonstances elles étaient séléniteuses, ferrugineuses, etc. Il faut presque toujours, en géologie comme en algèbre, faire abstraction de la nature des choses pour ne considérer que les formules qui s'y appliquent.

Dans le fait qui nous occupe en ce moment, on peut objecter que ces effondrements du sol dont nous avons parlé, prouvent, de la manière la plus claire, qu'il se forme à une certaine profondeur, des cavités qui sont dues à la dissolution du sel par les eaux. Ces cavités pourraient avoir d'autres raisons d'être, mais admettons comme réelle la supposition qui a été faite. Il arrive souvent aux eaux de détruire des terrains qu'elles ont créés. Des eaux autrefois fortement

salifères et saturées peuvent ne plus présenter, au bout d'un certain temps, ce caractère de saturation, et elles peuvent dissoudre alors une partie du terrain qu'elles ont déposé. Des sources calcarifères qui ont donné naissance à de puissantes assises peuvent, après avoir perdu leur calcaire et conservé de l'acide carbonique, attaquer les masses de carbonate de chaux, en entraîner de certaines quantités et y creuser des galeries.

C'est aussi le propre des eaux courantes d'attaquer et de détruire leurs travaux précédents. Nous voyons tous les jours, les rivières creuser leur lit dans les anciennes alluvions qu'elles ont abandonnées, et les cours d'eau creuser des vallées dans les grès et les argiles qui sont leur ouvrage.

Il est si naturel de voir sortir le sel du sein de la terre, qu'en outre des eaux minérales, qui toutes en contiennent encore comme nous l'avons déjà dit, les volcans en activité en produisent aussi d'énormes quantités; or nous ne voyons pas pourquoi on chercherait à expliquer par des réactions la production de certains sels qu'il est plus naturel de voir sortir tout formés de l'intérieur de la terre.

La présence du gypse dans les marnes qui séparent les assises de sel gemme, sa connexion avec du sel fibreux qui l'accompagne et s'y mélange, prouve que les sources qui amenaient le sel contenaient aussi du sulfate de chaux, à moins que ce dernier, qui se montre particulièrement dans les marnes, ne soit le produit de la réaction du sulfate de soude sur le carbonate de chaux des marnes irisées ; mais, dans ce cas, il serait résulté de cette double décomposition du carbonate de soude ou natron que l'on n'a pas rencontré dans les salines.

Nous ne pouvons douter non plus de la présence du fer dans ces sources, et pour le terrain de trias comme pour les argiles sableuses de la Limagne, nous voyons l'oxyde de ce métal produire des alternances régulières de couleur ou des panachures irrégulières vertes et rouges qu'il nous est bien difficile d'expliquer.

Les différentes couches de sel gemme superposées dans les salines et, souvent séparées par des marnes, indiquent quelquefois des variations dans le produit des sources qui leur ont donné naissance. C'est ce que l'on peut observer dans les salines de la Meurthe. A Saint-Nicolas-Varangeville, dit M. Grandeau, « la couche de sel, aujourd'hui exploitée, est la onzième en partant du sol; elle se trouve à 175 mètres de profondeur, et sa puissance est de 5 mètres. Il y a quelques années on extrayait le sel d'une couche supérieure, la quatrième, située à 74 mètres seulement au-dessous du niveau du sol. Ces deux couches présentent, au point de vue chimique, une différence importante signalée pour la première fois par M. Becquerel. Le sel de la quatrième couche contient des quantités plus notables de potasse que le sel de la onzième couche. Le sel de la quatrième est accompagné de gypse, de karstenite, de glaubérite et de polyhyalite; ces deux dernières espèces paraissent manquer complétement dans la onzième couche située comme la quatrième au milieu des marnes. » (*Ann. de chimie*, 3e série, février 1863.)

Une secousse de tremblement de terre peut avoir mis fin au dépôt d'une couche, et peut avoir modifié la composition de la source.

Si comme cela paraît être, les salines du Jura présentent des iodures et des bromures de potassium, tandis que

celles de la Meurthe n'en contiennent pas, cette différence n'indiquerait-elle pas une origine séparée? Si ces salines, assez rapprochées, provenaient d'une mer desséchée, leur composition devrait être la même. Si elles sont le résultat de sources minérales et locales, il est facile de concevoir que chaque source ait eu sa composition particulière.

Le sel gemme n'est pas toujours en couches régulières comme à Vic et à Dieuze. — Dans les Alpes du Tyrol, on reconnaît dans ses gisements un mélange et une disposition que l'on ne peut rapporter qu'à des eaux minérales qui étaient continuellement troublées par un mélange mécanique de marnes et d'argiles. C'est ce qui a été très-bien indiqué par M. Keller, ingénieur des mines, pour les salines du Salzkammergut.

« Dans les différents gîtes des Alpes, dit-il, le sel ne se trouve que rarement à l'état de sel gemme; il est d'ordinaire mêlé à de l'argile et à de la marne auxquelles on donne le nom de *salzthon*. Cette argile salifère est plastique, d'un aspect gris noirâtre ou quelquefois bleuâtre; elle se délite à l'air. Elle est pénétrée de sel gemme et de gypse. Ce sel est jaune, gris ou rougeâtre par places. Il est mêlé de gypse, soit hydraté, soit anhydre. Le sel et le gypse se présentent en général sous forme de grains cristallins, mais ne forment ni filaments ni cristaux; on y trouve mêlés de la magnésie, de la glaubérite, de la muriacite, de la polyhalite, et de plus, des morceaux anguleux de calcaire et même d'assez grandes lentilles d'un grès quartzeux rouge ou blanc..... Mais le plus souvent, le sel et l'anhydrite forment des veines qui donnent à l'argile salifère un aspect sédimentaire très-prononcé. » (*Ann. des Mines*, 6e série, t. II, p. 4.)

Nicol a trouvé dans des masses de sel gemme du Cheshire

des cavités contenant une solution saturée de chlorure de magnésium mélangé d'une petite quantité de chlorure de calcium. (*Edimb. jour.*)

M. Dumas a cité aussi un échantillon de sel gemme qui lui avait été remis par M. Boué, venant de la mine de Wicelitzka et qui décrépitait dans l'eau. Cet effet était dû à des bulles nombreuses d'un gaz inflammable fortement comprimé. (*Ann. de Chimie*, t. 49, p. 316.)

Les gisements de gypse sont tellement liés à ceux du sel gemme et du sulfate de soude, que Duméril a rapporté d'Espagne un minéral nommé *glaubérite* par Alexandre Brongniart, et qui est un sel double de gypse et de sel de glaubert. Ce sel est anhyde et l'on ne peut douter qu'il ait été produit par des eaux minérales, quand on reconnaît que ses cristaux sont enfermés dans les couches de sel gemme de Villarubia, près d'Ocana, dans la Nouvelle-Castille.

Le sel en Algérie est toujours associé au gypse. Le sel de Biskra est en couches dans le terrain crétacé ; ainsi les sources qui amenaient le carbonate de chaux de la craie contenaient aussi le chlorure de sodium.

Les ruisseaux salés et les sources salines ne sont pas rares, ce sont sans doute les restes de sources autrefois plus abondantes et plus productives.

Le lac Zagrès, dans la province d'Alger, nous offre encore aujourd'hui l'exemple de la formation d'une de ces immenses lentilles de sel gemme, semblables à celles que nous trouvons en Europe, principalement dans le terrain de trias. C'est le bassin évaporatoire de sources salifères. Ce lac a été décrit par M. Henri Fournel.

« En avril 1844, dit ce savant ingénieur, le lac Zagrès

était entièrement recouvert d'une immense croûte de sel, dont la surface, polie comme une glace, avait produit, de loin, l'illusion complète d'une nappe d'eau. La croûte, d'abord très-mince au bord, devenait bientôt assez forte pour supporter, sans se briser, le poids des chevaux. Plus loin, elle présentait une épaisseur de 0^m33, et cette épaisseur, croissant toujours, était de 0^m70 vers les parties centrales du lac. Dans toute l'étendue de la masse, ce sel, entièrement exempt de matières étrangères, est d'une blancheur parfaite et de très-bonne qualité. Le lac Zagrès a au moins douze lieues de longueur; sa largeur moyenne est de deux lieues. Il contient environ 127 millions de mètres cubes de sel, ou plus de deux milliards et demi de quintaux métriques, n'exigeant, pour être enlevés, aucun travail d'aucune espèce. » (*Ann. des Mines,* 1846, t. IX, p. 541.)

Après le dessèchement complet d'un lac comme celui-ci, si par une cause géologique quelconque, un dépôt marneux ou sableux vient se surajouter à la couche de sel, on aura un terrain salifère comme celui de la Lorraine et de tant d'autres localités.

Un des gîtes de sel des plus remarquables, dont les sources salifères ne sont pas encore taries, est celui qui a été si bien décrit par M. Ville. Il existe en Algérie, entre Boghar et Lagouat. On y voit un rocher considérable de sel d'où s'échappent encore des sources salées assez abondantes pour alimenter le Zabrez Rharbi, et le Zabrez Chergui, salines naturelles qui renferment d'immenses quantités de sel marin.

Ces crêtes de sel gemme ont reçu le nom de Djebel Oukeil et de Djebel Sahari. « On peut considérer ce rocher, dit M. Ville, comme le résultat d'une éruption de boue ar-

gilo-gypseuse et de sel gemme qui se serait fait jour à travers les assises superposées des terrains crétacé inférieur et tertiaire moyen. Ces deux terrains sont fortement redressés autour du gîte éruptif et lui forment à l'extérieur une double enveloppe. Des fragments de roches crétacées et tertiaires, éparses et encastrées à la surface du gîte de sel gemme, viennent confirmer cette manière de voir. »

Le sel gemme est très-abondant dans cette localité ; il y forme des talus très-abruptes qui atteignent 35 mètres de hauteur verticale. Ce sel est gris bleuâtre et non stratifié. La face supérieure de l'amas de sel gemme est très-irrégulière ; elle est recouverte presque partout d'un magma composé de fragments à angles vifs d'une roche silicatée de couleur très-variable, réunis par un ciment grisâtre qui est un mélange d'argile et de petits cristaux de gypse. Tout cet ensemble d'argile et de plâtre se ravine avec la plus grande facilité par l'action des agents atmosphériques. De plus, la dissolution du sel par les eaux souterraines donne lieu à de grands vides intérieurs qui s'effondrent de temps en temps et produisent à la surface du gîte des crevasses et des entonnoirs plus ou moins larges et plus ou moins profonds. Toutes ces causes réunies déterminent des accidents bizarres, fantastiques, qui font des roches de sel un magnifique spectacle pour le voyageur qui arrive fatigué par la monotonie de la plaine uniforme des Zabrez. » (*Ann. des Mines*, 5e série, t. xv, p. 408.)

Nous admettons bien, comme M. Ville, une éruption boueuse et saline, mais nous regardons les sources salées actuelles non comme un lavage de ce sel préexistant, mais comme les restes affaiblis des sources primordiales. Nous pensons que ces sources n'arrivent plus toutes saturées de

l'intérieur du globe, et qu'elles peuvent attaquer et dissoudre une partie des matières qu'elles ont autrefois abandonnées. Il faut cependant admettre qu'elles retirent encore du sel de l'intérieur du sol. Leurs eaux qui vont alimenter le Zabrez Rhardi et le Zabrez Chergui s'y concentrent au point de contenir 243 grammes de sel par kilogramme, sans compter les sels de magnésie qui restent en dissolution. La quantité de sel contenu dans ces deux salines a été évaluée par M. l'ingénieur Fournel à 127 milliards de kilogrammes ou plus de 250 millions de tonnes. Or, si ces lacs ont toujours été alimentés par l'eau de ces sources, le cube de sel qu'ils renferment dépasserait de beaucoup les dégradations et le cube des effondrements du rocher salé.

On voit que les sources qui ont donné naissance au sel gemme ne sont pas toutes de l'époque reculée du trias; nous pouvons citer des exemples qui datent d'une époque géologique plus récente. Presque toujours ces émissions ont été accompagnées de soufre préalablement combiné à l'hydrogène. C'est le phénomène actuel des sources salées développé sur une vaste échelle. Les grandes salines de Wieliezka en Pologne ne dateraient, d'après M. Zeuschner, que de l'époque des terrains tertiaires moyens. Tout y indique un dépôt d'eaux minérales. Le lac salé dans lequel ces sources s'épanchent, remplissait, d'après M. Zeuschner, « un détroit de deux lieues de largeur ayant différents embranchements dans les vallées voisines. » Ce détroit était formé par les roches du grès carpathique qui paraît devoir être rapporté au terrain néocomien. Ces mêmes dépôts continuent probablement dans la Gallicie orientale, dans la Moldavie, la Valachie, la Hongrie et la Transylvanie. Les sels y sont liés à de grandes masses de gypse et de soufre.

Le gisement de soufre de Szwoszowice est des plus intéressants. Il est placé dans des marnes tertiaires avec lesquelles il alterne; son épaisseur est de près de 80 mètres. On a trouvé dans ces marnes des feuilles de plantes dycotylédones et deux coquilles remplies de soufre, l'une était un Pecten, l'autre voisine des Natices. »

« Ce dépôt de soufre se trouve intercalé en forme de coin entre les assises de sel de Sỳdzina et de Wieliezka; il doit selon toute probabilité son origine à une cause locale, mais d'après les contournements que présentent les couches, on peut en conclure qu'il a été dérangé de sa position primitive. M. Zeuschner ne pense pas que ce soufre soit produit par sublimation, parce que les couches alternent d'une manière trop régulière avec d'autres couches d'une origine sédimentaire, mais, selon lui, il provient de sources sursaturées de gaz hydrogène sulfuré. »

« Dans certaines cavités du soufre, on trouve du quartz blanchâtre, quelquefois prismé ou dodécaèdre, ainsi que du gypse et du sulfate de baryte qui semble exclure le gypse dans les points où il est répandu. » (*Bull. de la Soc. imp. des naturalistes de Moscou*, 1851, III, p. 188.)

L'association du soufre, du sel et du quartz a lieu dans un grand nombre de localités. Le soufre que de Humboldt cite en couches dans du quartz n'a probablement pas d'autre origine que celle d'anciennes sources minérales.

M. Leymerie attribue comme nous le dépôt du sel gemme à des émanations de l'intérieur du globe. Il fait remarquer avec raison que dans les Pyrénées, c'est ordinairement dans le voisinage des ophites, dans des terrains plus ou moins disloqués par l'apparition de cette roche, que se trouvent les sources salées. Il attribue les principes de ces sources à des

émanations de gaz ou de vapeurs, et il explique par la durée de cette sublimation, l'accumulation en certains points favorablement disposés ou au milieu de marnes perméables, d'une grande quantité de matière saline qui constitue les sels gemmes que l'on exploite dans les Pyrénées.

Nous ne comprenons pas comment, après avoir donné cette explication, M. Leymerie ajoute : « Quant à l'origine du sel, il est naturel de la chercher dans les deux mers qui baignent les extrémités de la chaîne, et qui devaient même battre une partie de sa base à une époque récente géologiquement, si l'on en juge par les dépôts marins modernes que l'on voit s'avancer jusqu'à une certaine distance, soit à partir de la Méditerranée, soit à partir de l'Océan. »

La mer n'est autre chose que le réservoir commun où les eaux salées qui s'échappent de l'intérieur du globe, viennent se réunir et se condenser; elle ne peut donc fournir le sel qui existe dans l'intérieur du sol, mais en recevoir les solutions, si toutefois les eaux des sources salées actuelles ne sont pas, comme nous le présumons, les restes des anciennes sources qui ont déposé le sel gemme dans des lacs plus ou moins étendus.

L'idée de rechercher l'origine du sel des Pyrénées dans l'eau de la mer paraît d'autant plus singulière que M. Leymerie dit un peu plus loin : « On voit que nous considérons tous les gîtes pyrénéens comme appartenant à la classe de ceux qu'on a appelés *éruptifs*. L'irrégularité de ces dépôts, leur association habituelle avec les gypses, les bitumes et les ophites, au milieu de terrains disloqués, vient confirmer cette manière de voir, qui est, au reste, celle de M. Dufrénoy. » (*Mémoires de l'Acad. des sc. inscript. et belles-lettres de Toulouse*, 3e série, t. V, p. 113.)

L'analogie de composition des sels retirés par l'évaporation des eaux de Bourbonne avec le sel gemme, a fait penser à M. Drouot, ingénieur en chef des mines et auteur d'un mémoire très-complet sur ces eaux, qu'elles « prennent la majeure partie de leurs principes minéralisateurs dans des masses de sel gemme subordonnées à la partie inférieure des argiles barriolées et gypsifères qui se trouvent entre les deux formations bien caractérisées du grès bigarré et du muschelkalk. » (*Ann. des Mines*, 6e série, t. 3, p. 86.)

D'après notre théorie, ces eaux, loin de puiser leurs éléments dans ce terrain, l'auraient d'abord formé et se seraient graduellement affaiblies jusqu'à l'époque actuelle.

CHAPITRE XIV.

La Mer.

—

L'étude des sources salées, celle des lacs alimentés par les eaux minérales, nous conduisent à l'examen de ces grandes masses d'eau sans issue que l'on appelle des Caspiennes ou des Méditerranées, et finalement au grand Océan.

L'Océan n'est autre chose que le réservoir commun de toutes les eaux minérales, des eaux de lavages qui courent sur les terres, depuis que les terres existent, depuis que la pluie les arrose, à moins que l'on ne veuille le considérer comme rempli par les eaux mères d'une immense dissolution, dans laquelle la plupart des terrains auraient cristallisé. Nous préférons la première hypothèse.

Les volcans et les sources minérales qui, au lieu de consommer le sel de la mer, le lui fournissent en le retirant du sein de la terre, sont les causes de cette salure qui a toujours été en augmentant.

La composition de l'eau de mer est très-compliquée. L'eau de l'Océan, selon M. Becquerel, contient par litre en moyenne, 36 gr. 5 de matières salines; outre les chlorures de sodium et de magnésium qui en font la base, on y trouve quelquefois du chlorure ammonique, des iodures de magnésium et de sodium et même des brômures. L'eau de la mer Morte a une composition différente : le chlorure de magnésium y domine, on y trouve des chlorures de sodium, de cal-

cium, de potassium, d'aluminium, de manganèse et du sulfate de chaux. Ces sels y entrent pour 1/4 du poids des eaux. (Becquerel, *Comptes rendus des séances de l'Académie des sciences*, t. xx, p. 1510.)

Beaucoup d'autres corps doivent se trouver dans l'eau de mer et y seront découverts, lorsqu'agissant sur de grandes quantités, l'analyse se dirigera sur la recherche de telle ou telle substance prévue.

A mesure qu'un principe est indiqué dans les eaux minérales, on le cherche et on le trouve dans les eaux de la mer. Ainsi le fluor a été signalé par M. Wilson, dans les eaux du golfe de Forth, à Jappa, près d'Edimbourg; dans les eaux du golfe de la Clyde; dans l'incrustation de la chaudière d'un bateau à vapeur qui navigue dans la mer d'Allemagne; dans les cendres des plantes marines, et par M. Forchammer, dans les eaux de la mer des environs de Copenhague; tandis que M. Nicklès dont le talent et l'habileté ne sont pas contestables l'a inutilement cherché dans 300 litres de l'eau de la mer Atlantique.

On pourrait conclure à priori, que les eaux minérales ont contenu et contiennent encore en quantité notable, du fluorure de calcium et très-probablement du fluorure de magnésium; ces deux principes existant dans l'eau de la mer.

Les chimistes n'y ont encore découvert que le premier et en très-faible quantité; mais il existe dans les eaux de l'Océan une race particulière *de chimistes*, dont l'habileté dans la synthèse, dépasse même celle des chimistes les plus savants dans l'analyse. Ce sont les Madrépores. N'est-il pas curieux de voir dans les analyses de M. Silliman (*American, Journal of sciences*, mars 1846), le *Porites favosa* des îles Sandwich, offrir 7,83 pour cent de fluorure de calcium et

12,48 pour cent de fluorure de magnésium ; le *Madrepora palmata* des Antilles contient jusqu'à 26,34 pour cent du premier et 26,62 du second ; le *Madrepora prolifera* des Bermudes en a 7,50 et 2,62 ; l'*Astræa Orion* de Ceylan 0,85 du premier et 4,31 du second.

La silice, à peine indiquée dans les eaux de la mer, entre aussi comme principe constituant de ces Madrépores et atteint jusqu'à 50 pour cent dans l'*Astræa Orion*. La magnésie se trouve dans tous ces Madrépores ; le phosphate de cette dernière base fait 8 pour cent du poids du *Madrepora palmata* des Antilles, et l'alumine qui existe en quantité dans toutes ces habitations calcaires offre l'énorme proportion de 25 pour cent dans le *Madrepora prolifera* des Bermudes.

Les mollusques ont aussi la possibilité de trouver du calcaire dans des conditions où les chimistes ne peuvent l'indiquer par leurs réactifs.

Une grande espèce de Spongille que nous avons pêchée dans le lac Pavin, se procure la silice de ses spicules dans une eau où nous n'en trouvons pas.

Dans l'Adriatique, dont les eaux ont certainement partout la même composition, il existe des Éponges dont les spicules sont calcaires, d'autres siliceux et d'autres entièrement cornés sans calcaire et sans silice, mais contenant de l'iode.

M. Roux, ayant analysé l'eau de la mer Morte rapportée par M. l'abbé Person et puisée le 24 avril 1862 non loin de l'embouchure du Jourdain, y a trouvé un résidu de 206 grammes par litre. C'est donc la plus chargée de toutes les eaux minérales. Le fait le plus remarquable que cette analyse met en évidence, c'est la quantité de brôme que contient cette eau. M. Roux l'évalue à plus de 3 kilogrammes

de brômure de magnésium par mètre cube. Gemlin en indiquait plus de 4 kilogrammes.

L'arsenic, si fréquent dans les eaux minérales, doit exister aussi dans les eaux de la mer. Il est vrai que presque toujours uni au fer dans les sources, il se dépose avec lui.

Néanmoins, M. Daubrée a trouvé des quantités notables de ce corps dans des incrustations de chaudières de bateaux à vapeur faisant un service sur mer.

Au reste, on trouvera dans l'Océan tous les éléments solubles par eux-mêmes, ou du moins celles de leurs combinaisons qui sont solubles ou qui peuvent le devenir par l'intermédiaire d'autres corps.

Ainsi M. Vœlcher a constaté dans cette eau la présence de l'acide phosphorique ; M. J. Davy celle de l'oxyde de fer. MM. Malagutti, Sarzeaud et Durocher y ont trouvé du plomb, du cuivre et une quantité d'argent qu'ils ont évaluée d'une manière approximative à deux millions de tonnes pour la masse entière des mers.

Il doit toutefois exister quelque différence entre les eaux minérales, limitées dans leur composition, et les eaux de la mer, où toutes les décompositions, toutes les réactions doivent s'opérer continuellement.

Les principes insolubles des eaux minérales ou ceux qui le deviennent par des réactions sur le sol, n'arrivent pas jusque dans l'Océan, et d'ailleurs tant que l'analyse spectrale, agissant sur les eaux mères concentrées d'énormes quantités du liquide primitif, n'aura pas été appliquée par des mains habiles, nous ne saurons rien de précis sur la composition de ces eaux.

La présence du carbonate de chaux dans l'eau de la mer est attribuée par Davy à l'action corrodante de l'acide car-

bonique qu'elle renferme sur les rochers calcaires des rivages. Ce chimiste conclut ensuite de ces analyses, que l'eau de mer ne contient de carbonate calcaire qu'à une certaine distance des côtes et qu'en pleine mer il n'y en a plus.

Il est bien difficile d'admettre que l'Océan dans lequel doivent s'ouvrir de nombreuses sources calcarifères qui n'ont pu s'obstruer, soit privé de ce principe calcaire, ou bien il faudrait supposer des décompositions continues et très-difficiles à expliquer, le carbonate de chaux par suite de son insolubilité devant se produire aux dépens des autres sels calcaires. Les mollusques qui, à la vérité, sont plus fréquents près des côtes, ont besoin pour leurs coquilles d'une assez grande quantité de carbonate calcaire.

On ne peut guère attribuer à la décomposition des corps organisés marins le bitume contenu dans l'eau de la mer et dans les anciens calcaires marins. Les matières organiques qui existent dans cette eau sont bientôt absorbées par ces milliards de milliards d'êtres microscopiques ou gélatineux qui se multiplient dans l'Océan en proportion de la matière nutritive qui s'y trouve en dissolution. C'est l'animation incessante de la mort sous des formes très-différentes ; c'est la résurrection du principe organique qui bientôt va passer dans des êtres un peu plus compliqués ; c'est le cercle circulatoire de cette matière dont le sel arrête la décomposition putride.

Mais si les bitumes ne sont pas le résultat de la décomposition des corps organisés, il faut néanmoins admettre dans l'eau de mer l'existence d'une grande quantité de matières organiques.

La décomposition des sulfates contenus dans l'eau de

mer par les matières organiques versées dans l'Océan par les rivières de la côte occidentale de l'Afrique, s'exerce sur une si grande échelle que le doublage des vaisseaux est altéré par la formation de l'acide sulfhydrique. F. Daniell fait remarquer (*Philos. Magazine*, 3e série, n° 121) que cet effet se produit sur une étendue de côtes équivalant à 16 degrés de latitude. Il rappelle à cet égard le Mémoire du docteur Amédée Fontan sur cette même décomposition des sulfates dans les eaux minérales.

D'après ces considérations, l'eau de mer doit varier dans son degré de salure. On peut facilement se rendre compte de ces variations. Ainsi dans le voisinage des continents, la mer reçoit une quantité considérable d'eau douce versée par les six cents fleuves qui viennent apporter leur tribut, et cet apport incessant doit nécessairement influer sur sa pesanteur, ou, ce qui est la même chose, sur le degré de salure. La proximité des pôles doit produire le même effet, et le mélange des eaux qui provient de la fonte des glaces qui les entourent doit aussi diminuer la densité de l'eau dans ces contrées.

Les différents degrés de salure que les lacs, les Caspiennes et les Méditerranées peuvent présenter, ne sont pas toujours dus, comme on pourrait le croire, à une évaporation plus ou moins prolongée, ou à un excès d'eau douce qui viendrait alimenter un bassin. Ce sont principalement les sources qui sont les causes de l'excès de salure. Ce qui le prouve, c'est que certains lacs dont on enlève annuellement des quantités considérables de sel, sont toujours aussi salés, et d'ailleurs un grand nombre de larges lentilles de sel gemme doivent aussi leur origine à des sources salifères.

Nous ne nions pas, du reste, que l'évaporation ne soit une

source de salure; l'Océan et surtout la Méditerranée en sont des exemples. Il se peut aussi que des lacs, autrefois salés, aient eu leur sel entraîné par de puissants cours d'eau qui les traversent maintenant. Tel serait le lac Baikal, dont les eaux sont douces et pures, et qui vraisemblablement a eu autrefois des eaux salées. C'est du moins ce que l'on doit supposer quand on trouve dans cet immense bassin des Harengs, des Éponges et même des Phoques. Ces productions de l'eau salée ont dû s'habituer peu à peu à vivre dans l'eau douce en modifiant leurs individus.

La salure des mers a dû commencer avant l'émersion des premières îles et des premiers continents, car déjà, sans doute, des sources salifères avaient percé l'écorce du globe. Aussitôt que des terres furent émergées, elles furent lavées par les pluies qui, avant cette émersion du sol, retombaient continuellement dans la mer. Alors il n'existait pas d'eau douce sur la terre. Peu à peu une partie de l'eau fut distraite du grand Océan primitif pour être mise en circulation, et à mesure que l'étendue des terres augmenta, il resta en dehors de la mer des quantités d'eau de plus en plus grandes pour constituer les ruisseaux, les rivières, les fleuves, les lacs, les marais, et pour imbiber les sédiments de toute nature. C'est ainsi que la mer devint de plus en plus salée par ces deux causes réunies : la diminution de l'eau en réserve dans son bassin, et le retour incessant des courants qui ramenaient le sel de toute la surface des continents et de toutes les sources salées qui s'y trouvaient dispersées.

La salure des mers doit donc aller toujours en augmentant. Cette salure doit contribuer au ralentissement de l'évaporation, et nous devons faire entrer cette cause dans la

comparaison des quantités de pluie actuelles comparées à celles de l'ancien monde. A chaleur égale, les mers d'autrefois, moins salées qu'aujourd'hui, devaient abandonner plus facilement l'eau pure aux rayons solaires et produire plus de vapeurs.

Les Méditerranées qui sont en communication avec de grands fleuves, doivent présenter une moindre salure que l'Océan, puisque généralement elles reçoivent plus d'eau que leur surface n'en peut évaporer. Telle est, par exemple, la mer Baltique, la mer Noire. Il faut en excepter la Méditerranée proprement dite et la mer Rouge. On admettait depuis longtemps que cette dernière contient plus de sel que l'Océan, et ce fait a été mis hors de doute par MM. Ure et Wilkimon. Quant à la Méditerranée, on se rend compte de son excès de salure, en se rappelant que deux courants y pénètrent, l'un par le détroit de Gibraltar y verse les eaux de l'Océan, l'autre par le Bosphore y porte celles de la mer Noire, de sorte que la Méditerranée, par sa position dans des contrées chaudes, peut être regardée comme un vaste bassin évaporatoire. En effet, l'évaporation annuelle de l'eau de la mer dans les salines du midi s'élève, d'après M. Balard, à une couche de 40 centimètres d'épaisseur.

M. Abich considère la mer Caspienne non comme le résidu d'une mer intérieure ancienne, mais comme le bassin évaporatoire des nombreuses sources salées qui existent sur ses bords.

Il faut donc admettre la salure toujours croissante de la mer par les eaux minérales. Si celles-ci sont fréquentes sur la terre, elles doivent se trouver en nombre bien plus grand, cachées sous les eaux de l'Océan. Elles peuvent avoir con-

servé sous l'eau, à l'abri de dépôts ultérieurs, une énergie qu'elles ont perdue sur les continents. Les mers couvrant les trois cinquièmes du globe doivent avoir dans leur sein au moins les trois cinquièmes des sources minérales qui existent, et cela indépendamment du tribut salin de toutes les sources continentales. Comme la très-grande partie des volcans est située dans les îles ou sur les bords de la mer, c'est un motif de plus pour que ces sources soient plus nombreuses sous l'eau de mer qu'à la surface des continents, et cela indépendamment de quelques phénomènes de pression qui doivent modifier leur sortie.

Nous ne pouvons pas nier qu'il n'existe de fréquentes décompositions dans le mélange des eaux minérales ou des eaux courantes. Il suffit de réfléchir que les sels contenus dans les eaux sont presque exclusivement des sulfates, carbonates ou hydrochlorates de chaux, de soude ou de magnésie. Or, de toutes les doubles décompositions qui peuvent avoir lieu entre ces sels, il résulte toujours ou du carbonate de chaux insoluble ou de l'hydrochlorate de soude très-soluble ; ces sels ne peuvent pas être décomposés par d'autres sels. Il en résulte qu'on doit les rencontrer en abondance dans la nature, et c'est effectivement ce qui a lieu. Ainsi dans les mers où se rendent toutes les eaux du globe, où toutes les décompositions peuvent librement s'opérer, c'est le plus ordinairement du carbonate de chaux qui se précipite et du chlorure de sodium qui reste en dissolution.

Des couches de sel gemme se forment donc à la suite des temps dans le sein de l'Océan. Peut-être même se forme-t-il aussi dans le fond des mers des couches de carbonate de chaux qui s'y déposent comme un précipité chimique. Il suffit de se rappeler que beaucoup d'eaux minérales amè-

nent au jour de grandes quantités de bicarbonate de chaux, et que le dépôt peut s'opérer dans la mer actuelle comme il a eu lieu dans la mer jurassique et comme nous le voyons dans nos bassins tertiaires. Une autre cause que nous avons signalée en 1838, c'est que bon nombre d'eaux minérales contiennent aussi des carbonates de soude, tandis que d'autres renferment des chlorures de calcium. Il peut donc y avoir double décomposition, et ce phénomène explique à la fois la présence du sel marin dans les eaux et les grands dépôts de carbonate de chaux dans lesquels la présence des mollusques marins indique un sédiment déposé dans des eaux salées.

Nous savons parfaitement qu'on nous objectera que dans cette explication de la plupart des faits géologiques par l'action des eaux minérales, nous avons seulement fait passer la difficulté au-dessous des granites au lieu de la laisser par-dessus. Nous en convenons volontiers, mais encore fallait-il placer cette difficulté à sa véritable place pour empêcher qu'on ne s'épuisât en faux raisonnements.

On ne pourra jamais arriver aux limites de la science pure, c'est-à-dire de la vérité. Chacun doit s'efforcer d'en *reculer les bornes*, c'est la seule expression dont on puisse se servir. Peu importe que ces bornes soient éloignées, en distance, en profondeur, dans le temps ou dans l'espace, l'essentiel c'est qu'elles soient reculées. La science ne doit pas s'arrêter à une circonférence, mais se considérer au centre d'une sphère dont elle a pour mission d'allonger chaque rayon et d'aggrandir tous les diamètres.

CHAPITRE XV.

De la Baryte et de la Strontiane.

—

On ne connaît encore qu'un petit nombre d'eaux minérales qui contiennent de la baryte; mais nous admettons qu'à d'autres époques géologiques, ce minéral est souvent arrivé au jour en dissolution dans l'eau, et quelque extraordinaire que paraisse cette propriété dissolvante que nous attribuons à l'eau, elle existe cependant.

On doit à M. Becquerel une curieuse expérience sur l'augmentation du pouvoir dissolvant de l'eau, lorsqu'elle est saturée de sel marin. D'après ce savant, un litre d'eau saturée de chlorure de sodium, marquant 25° à l'aréomètre de Baumé, dissout environ 0 gram. 66 de sulfate de plomb (*Compte-rendu de l'Acad. des sc.*, t. 20, p. 1523). Or, ce que l'on sait de l'analogie des sels de plomb et des sels de baryte doit nous faire supposer que la présence du sel marin et d'autres corps peut-être, a dû favoriser la solution aqueuse du sulfate de baryte.

Nous en avons en Auvergne un exemple très-curieux aux eaux de Tambour, sur le bord de l'Allier. Quand les eaux de cette rivière sont basses, on y voit un calcaire très-compacte dont la pesanteur spécifique est de 2,66 à 2,70. Sa cassure est irrégulière, sa texture compacte et quelquefois grenue. Ce calcaire contient des filons de fer sulfuré dans le centre desquels on trouve du bitume et de la barytine.

C'est un travertin ancien, fortement fissuré, à la surface duquel on voit des masses d'asphalte assez volumineuses. La baryte sulfatée s'y présente en magnifiques cristaux de couleur ambrée avec leur forme primitive. La présence simultanée du calcaire, du fer, du soufre, du bitume et de la barytine, tout à côté d'une eau minérale qui coule encore, indique clairement l'origine de ces substances.

L'asphalte ne sort pas à l'état solide comme nous le trouvons dans les fissures du calcaire, mais à l'état d'une pâte molle comme le pissasphalte. C'est l'eau salée qui le durcit. C'est au sel abondant dans la mer Morte que l'asphalte qui surnage doit sa consistance. Or, le bitume des sources ne sort jamais sans eau salée. Le bitume, aux eaux du Tambour, a nécessairement été accompagné d'une quantité de chlorure de sodium bien plus grande que celle qui est aujourd'hui contenue dans ses eaux. Si le bitume nous indique l'ancienne salure, le sel nous donne la possibilité d'admettre la barytine, et, comme on sait que le départ des minéraux peu solubles s'effectue avec la plus grande facilité, la baryte a dû cristalliser dans ces conditions.

Pouvons-nous rapporter à des émissions d'eaux minérales, ces magnifiques cristaux des granites et des arkoses de l'Auvergne? Un de ces cristaux trouvé par M. Cuel, près de Vic-le-Comte, et aujourd'hui encore, dans la collection de M. Bouillet, pèse 10 kilogrammes.

Des granites altérés près de St-Amant-Tallende ont fourni à M. Mège de magnifiques cristaux.

Les formes les plus variées ont été retirées des arkoses du puy de Chateix, près de Clermont. Les cristaux y sont disposés en filons, accompagnés d'une assez grande quantité de fer hydroxydé qui remplit les intervalles que laissent les

cristaux entre leurs pointements. Leur arrangement, leur disposition sont ceux des arragonites dont on ne peut contester l'origine contemporaine.

Ailleurs la baryte blanche et lamellaire accompagne le plomb sulfuré, la blende, ou d'autres composés métallifères ; il faut lui attribuer la même origine qu'aux filons.

Des masses considérables de baryte sulfatée ont pour guangue les gneiss du Puy-de-Dôme et de la Haute-Loire. Ce sont des filons analogues à ceux du quartz hyalin et à ceux de fluorine. C'est la même direction.

Dans les filons qui existent à Alleret dans la Haute-Loire, nous avons retrouvé tous les caractères des formations neptuniennes ; des masses de fer hydroxydé, des grès ferrugineux réunis en rognons irréguliers, et, dans les cavités de la baryte, de jolis cristaux de quartz hyalin d'une admirable limpidité.

Le gisement de Thoste près Semur (Côte-d'Or), a offert à M. E. Richard de curieux échantillons de lumachelle siliceuse, dans laquelle il a rencontré de la baryte sulfatée lamellaire, de la galène et plusieurs autres substances minérales.

Le porphyre du terrain houiller de Brassac, évidemment postérieur à la houille, a été désigné par M. Delesse sous le nom de kersantite. Ce savant géologue, tout en reconnaissant l'action que ce porphyre a pu exercer par sa chaleur sur la houille qui se trouvait en contact avec lui, laquelle a été en partie transformée en coke, paraît croire que l'émission de la roche plutonique a été accompagnée ou suivie d'émanations aqueuses. Nous pensons comme lui que l'on doit attribuer une origine thermo-neptunienne à l'oxyde de fer, à la silice et à la baryte sulfatée dont ce coke est quelquefois imprégné.

L'origine neptunienne du sulfate de baryte est bien évidente pour le gisement de Laize-la-Ville, dans le Calvados, gisement qui a été l'objet d'un intéressant mémoire de M. Morière. Que l'on rapporte cette baryte au terrain jurassique comme M. Morière, ou à l'époque silurienne comme MM. Fabre et Villanova, on sera toujours forcé de la considérer comme le résultat d'une source minérale, dont le dépôt, plus ou moins troublé, s'est modifié suivant les causes qui venaient altérer le calme de cette émission.

M. Gruner cite de la baryte sulfatée qui s'est substituée à la matière première du test de plusieurs coquilles, ce qui exclut toute idée d'origine ignée. (*Ann. des Mines*, 4e série, t. XVIII, p. 84.)

Au reste, les pseudomorphoses opérées par la baryte sulfatée ne sont pas très-rares. Elles indiquent toutes la présence d'une solution de ce sulfate si énergiquement insoluble. En 1837, M. de Delanoue a présenté à la Société géologique, des Belemnites en baryte, ou du moins, le remplissage par cette substance du moule de ces animaux. M. Charles d'Orbigny a montré à la séance suivante, divers échantillons de Polypiers (*Astrœa*) et de coquilles bivalves (*Lima*), changés également en sulfate de baryte, et qui ont été recueillies par M. Cordier, près d'Alençon, dans un sable reposant sur le granite et recouvert de calcaire oolithique.

Brard a cité aussi près de Sarlat, dans des grès et des argiles, des débris de végétaux et le test de diverses coquilles convertis en quartz ou en sulfate de baryte.

La strontiane et la baryte existent dans plusieurs eaux minérales telles que celles de Durckheim, de Kreuzenach, etc., et dans la plupart de celles qui déposent des arragonites.

M. Grandeau cite ces deux bases accompagnées de lithine et de potasse dans plusieurs calcaires et dans la craie d'Angleterre, tandis que d'autres calcaires contenant de la lithine, de la potasse et de la soude sont complétement exempts de strontiane.

La strontiane est aussi indiquée à l'état de carbonate dans un grand nombre d'eaux minérales. Elle entre dans la composition de plusieurs dépôts d'arragonite.

La strontiane sulfatée dont les gisements sont nombreux, paraît aussi appartenir dans tous ses gîtes à des formations neptuniennes auxquelles les eaux minérales ne sont pas étrangères. Les magnifiques cristaux de strontiane sulfatés des gisements de soufre de la Sicile, sont certainement le produit des mêmes eaux qui ont abandonné le soufre. Les masses radiées de celestine des terrains tertiaires sont contemporaines de ces terrains.

Le gisement de la strontiane sulfatée en larges plaques ou en lentilles dans la marne argileuse jaune du terrain crétacé inférieur de Wassy, indiquerait à cette époque, une source amenant déjà cette substance, toujours plus rare que la baryte.

La strontiane n'est pas comme la baryte une substance de filon. Elle se rencontre surtout en nodules, en cristaux ou en masses fibreuses dans les terrains gypseux, souvent associée au soufre et même au sel gemme. Son origine hydrominérale est encore plus certaine que celle de la baryte.

CHAPITRE XVI.

Du Calcium. — Du Carbonate de Chaux. — De l'Arragonite.

—

Le calcium qui doit exister en abondance en dessous des terrains primitifs offre aussi une très-grande tendance aux combinaisons. Nous avons vu en parlant du soufre que certaines eaux contenaient du sulfure de calcium. Ce métal peut aussi s'unir au fluor, mais c'est surtout à l'état de sel qu'on le rencontre dans les eaux. Son oxyde ou la chaux se combine à l'acide carbonique et constitue deux sels de composition identique, mais de cristallisation distincte, le calcaire et l'arragonite.

La chaux s'unit aussi à l'acide sulfurique pour former le gypse.

On connaît aussi des phosphates et des borates de chaux. Enfin, la chaux entre dans des combinaisons plus compliquées; elle peut former la base de silicates simples ou composés.

DU CARBONATE DE CHAUX.

Il n'existe peut-être aucune source qui ne contienne au moins des traces de carbonate de chaux, mais il faut distinguer celles qui dissolvent la matière calcaire en traversant des terrains superficiels qui la contiennent de celles qui vont puiser leurs principes sous les terrains primitifs.

Les sources ordinaires, les eaux de pluie même, con-

tenant parfois des traces d'acide carbonique peuvent user les calcaires et en entraîner lentement des parcelles, comme on peut le voir dans les dégradations et les érosions des Causses du Gard et de la Lozère. Ces eaux peuvent contribuer à former des stalactites et des stalagmites dans les cavernes. Elles agissent lentement et continuellement.

Nous devons nous occuper, dans ce paragraphe, des eaux calcarifères plus ou moins thermales, qui vont chercher dans les profondeurs du globe le calcaire qu'elles amènent aussi sur la terre.

Ces eaux sont extrêmement fréquentes sur le plateau central de la France et dans une foule d'autres localités.

Nous parlerons ailleurs, avec détails, de la fontaine de Saint-Alyre à Clermont, du pont naturel qu'elle a jeté sur le ruisseau de Tiretaine, du second pont qu'elle forme en ce moment et des masses de travertin qu'elle a déposées. Il existe près de Ganges, un pont tout à fait semblable créé par des eaux minérales.

La petite vallée granitique de Saint-Nectaire, en Auvergne, est tapissée partout d'incrustations calcaires d'un beau blanc, et une végétation maritime s'est développée sur les roches primitives arrosées d'eau minérale.

Ces dépôts calcaires si fréquents en Auvergne, le sont peut-être plus encore en Italie. On voit à Telèze, des sources qui ont produit une grande quantité de matières calcaires, puisque leur dépôt forme une croûte étendue sur un terrain de quatorze à quinze kilomètres de surface. Ces incrustations se rencontrent dès qu'on a passé le Colore au bac de Telèze et continuent jusqu'à leur source. La majeure partie du terrain voisin était couverte à l'époque du voyage de Breislack sur une épaisseur de près d'un mètre, et pour re-

couvrer l'usage de l'excellent sol de cette plaine, il a fallu enlever la croûte pierreuse dont elle était revêtue. Les moines de Saint-Alyre, à Clermont, agissaient de même pour trouver le sol végétal de leurs jardins.

Dans aucune contrée peut-être, les dépôts de carbonate de chaux ne sont aussi abondants que dans la Toscane. Il est impossible de compter les sources calcarifères situées dans la chaîne métallifère et sur d'autres points de cette région. Elles ont abandonné partout des travertins et elles en forment encore. Quelques-uns de ces dépôts, qui s'opèrent sous les eaux de la mer, en empâtant des sables et des graviers, constituent une roche toute particulière qui a reçu des géologues italiens, le nom de *Panchina*.

Les bains de Saint-Philippe, près de Radicofani, sont devenus célèbres par l'ingénieux parti qu'on a su tirer de la propriété incrustante de leurs eaux pour la fabrication des camées. Chaque goutte d'eau qui rejaillit sur les moules en creux qui y sont exposés, abandonne quelques molécules calcaires qui s'y cristallisent en perdant leur acide carbonique surabondant, et ces dépôts successifs finissent par remplir les moules d'un albâtre de la plus grande beauté, d'une blancheur égale à celle de l'albâtre gypseux, mais qui a pour le moins la durée du marbre et toutes les propriétés de l'albâtre oriental. Quant à la partie d'art, ces reliefs ne le cèdent en rien à l'original même dont ils sont la fidèle copie.

L'eau qui alimente ces établissements et les bains de St-Philippe tombe dans un étang où, en 20 années à peu près, elle a déposé une masse solide de 9 mètres d'épaisseur. Dans les cabinets d'incrustation, elles produisent en quatre mois une couche de pierre de 3 décimètres d'épaisseur. (Lyell, *Principes de géol. trad.*, t. 2, p. 119.)

Cette jolie industrie de St-Philippe a été transportée en Auvergne où elle a atteint un haut degré de perfection à St-Nectaire, à Gimeaux, à St-Alyre, etc.

A Tivoli on voit d'énormes masses de travertins antérieurs à l'époque historique. Il en est de même à Vichy où la ville entière est construite sur le dépôt des eaux bien peu abondantes aujourd'hui et bien moins calcarifères, si on la compare aux effets des anciennes sources.

Les eaux célèbres de Carlsbad sont très-remarquables aussi par les dépôts qu'elles ont formés. Les sources sortent du granite et du porphyre, dans une vallée étroite où coule le ruisseau du Tœpel. Leur nombre est considérable. L'une d'elles, le Sprudel, dont l'eau est très-chaude et accompagnée de fumée, jaillit avec bruit au milieu d'une voûte formée par les dépôts de la source; tout le bassin de cette dernière s'est revêtu, avec le temps, d'une couche épaisse de calcaire sur laquelle est bâtie une partie considérable de la ville. Des dépôts calcaires ont été formés par le Sprudel, depuis un grand laps de temps, partout où l'eau a trouvé du vide; il en est résulté des bancs entiers disposés en couches minces et parallèles dont chacun provient d'un dépôt particulier.

La croûte calcaire du Sprudel fut brisée par l'eau au commencement du siècle dernier (dans les années 1713 et 1727), et l'eau chaude se répandit immédiatement dans le Tœpel. On résolut alors, tant pour savoir la cause de cet évènement que pour découvrir le moyen d'empêcher à l'avenir de semblables ruptures, de percer ce calcaire et de voir à cette occasion d'où les eaux venaient. A peine eut-on percé la croûte supérieure, que l'eau sortit avec force, et que l'on vit plusieurs cavités plus ou moins grandes remplies d'eau,

et dont le fond était également une croûte calcaire. On perça aussi celle-là, et l'on découvrit sous elle des cavités semblables, d'où l'eau sortit avec une force plus grande encore, et dont le fond consistait en une troisième croûte de calcaire. Lorsqu'on eut percé à son tour cette dernière croûte, on découvrit un grand réservoir d'eau, qui a reçu le nom de Chaudron du Sprudel (Sprudel-Kessel). Les croûtes de carbonate de chaux avaient toutes une épaisseur de 3 à 6 décimètres, et consistaient en une pierre d'un blanc d'albâtre à bandes brunes, à laquelle on a donné le nom de pierre de Sprudel (Sprudel-stein). Les trois couches ne sont pas placées concentriquement l'une sur l'autre; elles forment des espaces inégaux, séparés par des parois, comme si on plaçait des vases hémisphériques plus ou moins grands, renversés les uns sur les autres.

Une circonstance qui prouve la grandeur considérable du Sprudel-Kessel, c'est que, si l'on creuse dans la ville de Carlsbad, et que l'on perce la croûte du Sprudel, l'eau chaude monte avec violence. Le gaz acide carbonique s'élève de plusieurs endroits à travers les fentes de cette croûte, en telle quantité que les caves des maisons en sont remplies, et que dans le Tœpel, qui coule immédiatement sur cette croûte, on voit sur une grande longueur, le gaz monter en bulles au dessus de l'eau. Les canaux par lesquels s'écoule l'eau du Sprudel se remplissent si vite de carbonate de chaux que l'on est obligé de les percer quatre fois par an.

Le Sprudel n'est qu'une ouverture du bassin-Chaudron, laquelle offre de fréquentes intermittences. Les parties supérieures du Chaudron se remplissent d'acide carbonique, et quand sa quantité est suffisamment augmentée, elle comprime tellement la surface de l'eau, qu'il peut s'échapper

par les mêmes canaux. L'eau et le gaz sortent alors alternativement de 18 à 19 fois par minute. (Berzelius, *Annales de chimie et de physique*, t. 28, p. 233.)

La Suisse, brisée par de nombreux soulèvements, montre partout des amas de carbonate de chaux produits par des sources minérales.

Entre Meiringen et Rosenlaui, on voit des travertins modernes, puisqu'ils se forment encore, et tout à fait semblables à ceux de l'Auvergne. D'autres calcaires travertins sont employés à Berne dans les constructions. Saussure, à qui rien n'échappait, a très-bien vu ces créations de calcaire. « Les eaux minérales, dit-il (*Voyages*, t. 2, p. 176), ont formé autrefois dans la grotte de la Balme, entre Chèze et Sallanches, des espèces de planches ou plafonds qui résonnent sous les pieds. On voit plus loin leur mode de formation en observant dans le fond de la caverne des eaux stagnantes à la surface desquelles on voit d'abord une croûte cristalline, semblable à une poussière incohérente. Peu à peu cette poussière prend de l'épaisseur et de la consistance, au point que j'avais peine à la rompre à grands coups de marteau partout où elle avait un ou deux pouces d'épaisseur. »

On rencontre dans une grande partie du Jura de nombreux amas de travertins quelquefois considérables, et près desquels n'existent plus les sources qui les ont produites.

Les dépôts calcaires actuellement formés par les eaux minérales peuvent atteindre de grandes proportions. M. Russeger a cité auprès de Lypso, dans l'île d'Eubée, des sources presque bouillantes « qui déposent une si grande quantité de carbonate de chaux, que, depuis leur sortie jusqu'à la côte, on voit régner sur leur trajet, le long de la chaîne

principale, une petite chaîne de calcaire entièrement formée par elles, et dont l'élévation n'est pas moindre de 600 pieds au-dessus du niveau de la mer. » (*Bull. de la Soc. géol.*, t. 12, p. 201.)

M. Boué a vu en Turquie des masses de calcaires qu'il n'hésite pas à rapporter à des eaux minérales. « Quelques-unes de ces eaux, dit-il, ont déposé jadis beaucoup de tuf calcaire, et indiquent ainsi qu'elles contenaient de l'acide carbonique et de la chaux. Nous pouvons citer pour exemple l'eau de Bania, près de Nisch, sans odeur d'hydrogène sulfuré; elle laisse encore échapper un gaz dont la chaleur paraît au baigneur plus grande que celle de l'eau. Un semblable dépôt se retrouve aussi aux Thermopyles et à Brousse, en Asie, où il occupe une étendue de trois quarts de lieues sur un quart de lieue de largeur, et forme une épaisseur de 100 pieds. A Baden, près de Vienne en Autriche, une masse de tuf calcaire indique par ses coquillages, dont une Paludine n'existe plus dans le pays, que c'est une formation bien ancienne de la source. » (*La Turquie d'Europe*, t. 1, p. 385.)

Dans tous les pays, il existe comme en Auvergne des dépôts de travertins dont les sources sont taries. M. d'Orbigny a rencontré près d'Oruro, dans l'Amérique méridionale, de nombreuses concrétions de carbonate de chaux dont il n'a pas retrouvé la source et en contact comme ici avec des produits volcaniques. « L'espèce d'encroûtement de cette subs-
» tance sur les roches de nature ignée et son extérieur va-
» rié, me rappelèrent ce que j'avais vu près de Potosi et ce
» que je pus observer plus tard à la source incrustante de
» Clermont-Ferrand. » (D'Orbigny, *Voyages*, t. 3, p. 318.)

Des travertins obstructeurs existent aussi au Montamiata.

Sur plusieurs points du Siennois ils ont formé de véritables collines dont les sources affaiblies sont maintenant éloignées de leurs dépôts, ou même sont entièrement taries. Georges Santi en a cité de nombreux exemples dans son *Voyage au Montamiata et dans le Siennois* (t. 2, p. 93 et p. 312).

M. le docteur Sedillot a cité un curieux exemple de ces obstructions calcaires qui bouchent l'orifice des sources et forcent les eaux de s'échapper sur d'autres points. Cet exemple existe en Afrique, près de Mjer-an-Mar, à 30 à 35 kilomètres de Ghelma. On y voit plusieurs sources très-chaudes qui bouillonnent à la surface du sol et qui ont donné naissance à des monticules coniques au nombre de 400 ou 500 peut-être, dans une circonférence de 300 pas de diamètre.

« Le phénomène le plus curieux que présentent ces eaux, dit M. Sedillot, est celui du dépôt calcaire qui donne naissance aux pyramides coniques dont quelques-unes ont depuis 15 à 18 pieds de hauteur, tandis que la plupart ne dépassent pas 5 à 6 pieds. Beaucoup sont isolées ; mais il y a aussi des masses calcaires considérables qui se trouvent dues à des dépôts faits sur une plus vaste échelle... On aperçoit encore quelques rares pyramides se former isolément par un mécanisme facile à comprendre. Lorsque l'eau vient à sourdre d'un point quelconque, elle commence par déterminer un bassin de quelques pieds de diamètre autour de la source, et les limites ou contours de ce bassin sont le siége d'un dépôt calcaire d'une blancheur parfaite, qui produit une espèce de cuvette, dont les bords continuent à s'élever au fur et à mesure que l'eau s'écoule au-dessus d'eux en dépassant leur niveau. Celui-ci se trouve de plus en plus élevé; mais en même temps qu'il s'accroît, il se ré-

trécit et finit par se terminer en pointe. Les différences de hauteur des cônes paraissent dépendre de la force avec laquelle l'eau se dégageait. Quand l'eau ne pouvait plus dépasser le sommet, elle allait sourdre ailleurs. » (*Comptes-rendus de l'Acad. des sciences*, t. V, p. 556.)

L'Afrique, et surtout l'Algérie et la Tunisie, est un véritable pays de miracles pour l'étude des eaux minérales.

M. Ville a signalé en Algérie, dans la province d'Oran, un grand nombre de sources thermales qui, pour la plupart, déposent en abondance du carbonate de chaux. Il est probable qu'une partie des minerais de fer oxydé et hydroxydé de cette province sont dus également à des dépôts d'eaux thermales.

« Les bains d'Hammam-Mascoutin peuvent se comparer de loin à une ville couverte de minarets ou à un douare de tentes; à mesure que l'on approche, on distingue à travers un nuage de vapeur d'eau la belle cascade qui se précipite sur des rochers blancs et roses, à travers des arbres recouverts d'incrustations et des ruines romaines. On entend l'eau bouillonner sous ses pieds, et l'on voit la vapeur s'échapper par toutes les fentes des rochers et répandre au loin une odeur sulfureuse. Comme l'eau se refroidit rapidement en s'éloignant de sa source, on trouve, à peu de distance, beaucoup de poissons. Il est facile d'en prendre, et en les rapportant quelques centaines de pas plus haut et les plongeant dans l'eau, on les fait cuire immédiatement. »

« Les eaux d'Hammam-Mascoutin sourdent dans le terrain de grès ferrugineux des marnes à fucoïdes ; aucune roche d'origine ignée ne se montre dans le voisinage; les phénomènes si remarquables que l'on y observe aujourd'hui remontent à l'origine des dépôts tufacés. On y trouve le

marbre rose en place, et aucune couche ne renferme de fossiles. L'Afrique septentrionale a dû être entièrement soumise à des phénomènes semblables. Chaque vallée a ses tufs, et le terrain tertiaire marin des environs d'Alger montre partout, dans la partie supérieure, des nappes ondulées qui contiennent elles-mêmes des débris marins; la barégine, d'une couleur ocreuse, s'amasse sur une épaisseur de 0,01 sur les flancs des cônes d'Hammam-Mascoutin, inclinés de 20 à 30, et dont la température est de 60 à 70°. »

« Il est à remarquer qu'Hammam-Mascoutin est au milieu d'une zone de sources thermales qui s'étend des environs de Setif par Constantine jusqu'à Hammam-Berda et même jusqu'à la Calle, et que cette ligne suit la direction E.-N.-E. de la chaîne, l'une des fractures les plus récentes du nord de l'Afrique. »

« Sur plusieurs points, on trouve des collines, quelquefois très-élevées, composées d'un calcaire celluleux entièrement semblable à celui que déposent les eaux d'Hammam-Mascoutin. » (Note de Boblaye. *Bull. de la Soc. géol.*, t. 11, p. 130.)

Nous reviendrons plus loin sur ces eaux si curieuses, mais nous devons signaler parmi les dépôts de sources taries ou éloignées, les collines importantes, où l'on exploite aujourd'hui les admirables travertins, désignés à Paris, sous le nom de *marbre onyx d'Algérie.*

« Les carrières qui renferment ce marbre sont situées en Algérie, dans la province d'Oran, entre Oran et Tlemcen.

» Elles sont distantes de 100 kilomètres d'Oran et de 30 de Tlemcen : la route qui relie ces deux villes les traverse.

» Elles se trouvent sur deux plateaux distincts sur la rive gauche de l'Isser, à des hauteurs à peu près semblables.

» L'un, celui de Bled-Rekam (pays de marbre) est le plus important. L'onyx s'y rencontre à l'état de formations isolées, distinctes dans leur épaisseur et leur inclinaison. Ces formations sont composées de plusieurs bancs d'une qualité variable, recouverts généralement d'une couche de terre végétale de 0,50 d'épaisseur. On ignore leur profondeur.

» Jusqu'à ce jour on a seulement exploité la surface du sol, et il n'est pas probable que de longtemps les recherches en profondeur soient nécessaires. Cependant le milieu de ce plateau, étant coupé par un profond ravin, dont les escarpements sont taillés à pic, on a pu suivre le marbre jusqu'à environ 10 mètres de profondeur.

» L'autre plateau, celui d'Ars-el-Beïda est à 4 kilomètres du premier. L'onyx ne s'y présente plus à l'état de formations isolées, mais par bancs continus variant entre 15, 30, 40, 50 et 80 centimètres d'épaisseur. Leur régularité est constante, et par suite des escarpements qui se développent sur deux kilomètres de longueur on peut la constater avec facilité. »

Nous devons ces détails à M. Viot, directeur de la fabrique des marbres onyx de la rue Popincourt à Paris. Nous devons encore à son obligeance d'avoir pu étudier dans ces vastes dépôts de pierre brute, des milliers d'échantillons ne nous laissant pas le moindre doute sur l'origine hydro-minérale de ces beaux produits.

Les parties employées dans l'industrie sont des masses presque pures ou du moins translucides qui indiquent le calme pendant la formation, puis un léger fendillement pendant la consolidation et le retrait. Quand les masses sont

pures, elles sont presque incolores, blanchâtres ou légèrement verdâtres. Dans ce dernier cas, c'est une matière organique qui donne la nuance. Nous en avons vu quelques parties d'un rose tendre, comme des fragments de travertin d'Hammam-Mascoutin et comme des travertins roses que nous avons rencontrés en Auvergne, tandis que d'autres fragments offraient des nuances fleur de pêcher et violet qui rappelaient les couleurs de l'aniline ou les colorations de manganèse. Nous n'hésitons pas à regarder ces magnifiques colorations, d'ailleurs exceptionnelles, comme étant dues à des êtres vivants et surtout à des infusoires qui rencontraient, comme ils les trouvent encore dans les eaux thermales, les meilleures conditions d'existence et de multiplication.

La tendance à la cristallisation est manifeste dans plusieurs blocs de marbre onyx. Elle se combine avec les fendillements dus au retrait, et alors certains morceaux prennent un peu l'apparence du marbre ruiniforme de Florence.

Le fer s'ajoute presque partout à la coloration de ces travertins. Son oxyde hydraté, et très-probablement des crénates et des apocrénates de ce métal, sont restés suspendus en flocons dans la pâte calcaire. Cet oxyde forme aussi des orbicules distincts, résultat de centres d'attraction plus ou moins nombreux. Tantôt les orbicules ferrugineux se groupent ou s'alignent formant d'admirables dessins. Tantôt des zones se réunissent autour d'un centre, alternant avec de l'albâtre translucide ou avec des parties demi cristallisées. Ce sont les nuances et les zones superposées de l'agathe.

Le poli que l'on donne à ce marbre dans la belle usine de Popincourt, permet de suivre partout l'action créatrice

de l'eau ; l'œil peut saisir les moindres effets produits par la présence du fer et des matières colorantes, et l'imagination se reporte vers l'époque relativement récente, pendant laquelle la nature préparait à l'industrie de si riches matériaux.

C'est à M. Alphonse Pallu, qui sait joindre toute son activité à sa haute intelligence que l'on doit l'exploitation de ces marbres d'Algérie.

Les formes et la texture que prennent les calcaires déposés par les eaux minérales, rappellent toutes celles qui ont précédé les dépôts actuels.

M. Lyell indique sur les bords du lac Ourmiah (ou Maragha), entre la mer Caspienne et la mer Noire, un marbre exploité qui se reproduit en peu de temps par une source thermale. (*Princ. de géol. trad.*, t. II, p. 132.)

Les formes arrondies de pisolithes et d'oolithes sont surtout très-fréquentes dans les travertins actuels et tout à fait comparables à celles des terrains plus anciens. Le mouvement continuel de l'eau calcarifère forme les pisolithes, dans les lieux où tombe une cascade et où l'eau tourbillonne. Si la chute est assez considérable, les grains longtemps suspendus peuvent acquérir un certain volume et se chargent continuellement de couches calcaires, comme les dragées qui ont pour centre une amande que l'on enveloppe successivement de petites zones de sucre. Quand ces grains, ainsi changés, sont devenus trop pesants pour être encore ballottés, ils tombent et sont agglutinés en masse par le dépôt calcaire.

Il est impossible, dit M. Pomel, en parlant du terrain pisolithique des environs de Paris (situé entre la craie et le calcaire grossier), de n'y pas voir un travertin identique à

ceux qui se forment encore sur un grand nombre de points du centre de la France. (*Bibliot. de Genève*, t. 5, suppl., p. 306.)

Ces terrains composés de petits globules ou de nodules plus ou moins volumineux, réunis et soudés en quelque sorte par un ciment calcaire, ont toujours attiré l'attention des géologues et des minéralogistes, puisque tous les anciens auteurs s'en sont occupés et leur ont donné des noms particuliers tous plus ou moins inutiles. Nous ne les imiterons pas et nous conserverons la dénomination la plus générale, celle d'oolithes, bien que nous ne supposions pas qu'ils sont formés par des œufs fossiles ou concrétionnés. Les formes globuleuses, oolithiques où pisolithiques ainsi que les causes qui ont dû les produire ont été étudiées avec le plus grand soin par mon savant ami Virlet. Nous ne pouvons mieux faire que de renvoyer à l'intéressant mémoire qu'il a publié sur ce sujet (*Bull. de la Soc. géol.*, 2e série, t. xv, p. 187) et aux observations que M. le professeur Fournet a consignées dans son mémoire sur la formation des oolithes calcaires.

Nous ne nous occuperons que des oolithes des terrains tertiaires et des travertins, c'est-à-dire, en dernier lieu, des oolithes qui se produisent même sous nos yeux. Les unes se forment évidemment par la superposition de couches diverses autour d'un centre ; ce sont les pisolithes. « Elles sont produites, selon M. Fournet, sous l'influence d'une certaine agitation et peuvent être composées de couches de diverses natures, alternant quelquefois les unes avec les autres. Le calcaire ordinaire, l'arragonite, la pyrite s'y montrent tour à tour ; quelquefois encore l'existence de matières organiques à divers degrés de concentration est décelée par des colora-

tions noirâtres plus ou moins intenses qu'acquièrent les zones à la suite de la calcination. »

Nous trouvons en Auvergne et à Clermont même, à St-Alyre, des pisolithes de cette nature, mais cette matière organique dont parle M. Fournet existe à peu près dans toutes les concrétions minérales. Nous avons même vu à St-Nectaire des pisolithes offrant des couches d'un beau vert, et cette teinte était due à des Conferves qui vivent dans les eaux minérales. Nous avons trouvé à Vichy, dans le rocher des Célestins, des arragonites qui offraient la même teinte verte très-éclatante, certainement due à la même cause, et, quoique cette nuance de vert soit très-altérable à la lumière solaire, dès que la vie n'existe plus dans les êtres qui la produisent, elle se conserve indéfiniment au milieu des pisolithes et des masses d'arragonites. M. Fournet cite encore à la source de Fontfreide près Pontgibaud, des pisolithes entièrement vertes, et attribue aussi à des Algues cette curieuse coloration.

Nous renverrons à ce que nous avons dit ailleurs des oolithes des terrains jurassiques, en nous occupant de cette époque. Nous ne reviendrons pas non plus sur les calcaires friables avec rognons de silex, ni sur ces terrains crayeux que nous avons aussi attribués à des eaux minérales. Nous ferons seulement remarquer qu'à toutes les époques géologiques des calcaires friables avec rognons siliceux et plus ou moins analogues à la craie, se sont déposés sous les mêmes circonstances et avec les mêmes caractères. Mais M. E. Robert cite cette forme de calcaire en Russie entre Bourkowa et Prokchinskaia, où cette roche est cependant un vrai calcaire de transition contenant des Térébratales, des Productus, des Evomphales, beaucoup de Polypiers, etc. (*Observ. géol.*

faites en Russie, pendant l'année 1839. *Bull. de la Soc. géol. de France*, t. 11, p. 311.)

Nous pourrions donc épuiser toute la série des formes dans les calcaires, et les retrouver dans les dépôts contemporains des eaux minérales.

Il est bien évident que ces beaux groupes de carbonate de chaux, si purs et si bien cristallisés qui ont été transportés des filons dans nos collections, ne peuvent avoir été produits que par la voie humide. Le feu les détruirait. Il est nécessaire que les dissolutions aient varié de nature et aient reçu des corps étrangers pour avoir fourni des formes dont les modifications sont innombrables. Les eaux minérales seules ont pu amener ces résultats.

Nous en avons en Auvergne un bien bel exemple dans les échantillons cristallisés du puy St-Romain. Des eaux calcarifères ont tapissé les fissures du terrain tertiaire de volumineux cristaux de chaux carbonatée cuboïde, d'un beau jaune et d'une transparence parfaite ; un peu plus tard, c'est la chaux carbonatée équiaxe ou inverse qui est venue se déposer sur la première cristallisation en cristaux blancs et quelquefois légèrement opaques, au moins à la surface. Enfin, çà et là, mais rarement, du gypse d'une extrême pureté brille au troisième rang, sur ces groupements superposés. un liquide seul a pu produire cette réunion de minéraux ; il fallait un liquide qui contînt du carbonate de chaux d'abord, du gypse ensuite. Une eau minérale, en changeant de nature, peut seule expliquer cette élégante superposition.

Tout à côté, dans le lit de l'Allier, coulent aujourd'hui les eaux de Sainte-Marguerite. Avant la grande érosion qui a séparé le terrain tertiaire qui forme la base de Corent de celui qui constitue le puy de St-Romain, ces eaux de-

vaient s'infiltrer à travers cette masse, remonter sans doute à travers ses fissures ou se perdre dans des conduits souterrains. Elles étaient plus abondantes, puisque toutes les eaux minérales ont diminué de volume et d'énergie; elles ont dû créer ces groupes de cristaux.

Le gypse était aussi apporté par elles, puisqu'il remplit à St-Romain les fissures du calcaire, et puisqu'il forme à Corent de petites assises subordonnées.

Les calcaires cristallins saccharoïdes, qui paraissent si intimement liés aux gneiss et aux roches primitives, ne peuvent être considérés que comme les dépôts des premières eaux minérales contemporaines de ces roches primitives. Un métamorphisme ultérieur a pu modifier quelques-uns de ces calcaires; mais, en général, ils sont le produit des premières sources calcarifères, dans lesquelles la vie commençait à se développer.

La chaux ou plutôt le calcaire devient de plus en plus abondante, à mesure que les âges se rapprochent des époques jurassiques et crétacées. Alors la nature possédait toute sa puissance de création. Mais, après la craie, les dépôts calcaires se localisent. On ne rencontre que des bassins tertiaires, quelquefois il est vrai très-étendus, et peut-être aussi d'immenses précipités calcaires s'opèrent au sein des mers, tandis que les sources calcarifères ne forment plus sur les terres émergées que de faibles amas de travertin.

L'abondance de certains animaux aux plus anciennes époques géologiques semble indiquer des mers peut-être moins salées, mais plus riches en calcaire, ce qui s'accorde parfaitement avec les études de composition faites sur les eaux minérales. C'est ainsi que les *Palæospongia* et autres Amorphozoaires testacés étaient communs et répandus à

profusion dans les terrains de transition, tandis que plus tard ce sont les Amorphozoaires à squelette corné qui les ont remplacés.

Néanmoins, les dépôts calcaires sont évidemment les plus fréquents à notre époque. M. Boussingault cite dans les Andes des sources chaudes qui sortent des trachytes et forment des calcaires en assez grande quantité pour alimenter des fours à chaux. Telle est la source de Pandiaco, près du volcan de Pasto, dont l'eau a 36°. Telle est encore celle du volcan d'Antisana à 3,549 mètres de hauteur. Cette source qui marque 27° 2 est aussi ferrugineuse. (*Ann. de Chim. et de Phys.*, 2e série, t. 52, p. 184.)

On a cherché souvent, dans les réactions produites sur les roches par l'eau bouillante, l'explication de certains produits des eaux minérales. Ainsi M. Bischoff a constaté que l'acide carbonique se séparait graduellement du carbonate de chaux au moyen de la silice sous l'influence de l'eau bouillante.

« Il n'est donc plus besoin, dit-il, pour découvrir l'origine des exhalaisons d'acide carbonique, de croire que le foyer d'où elles s'échappent est situé dans la région où les roches sont à une chaleur rouge. » M. Bischoff semble ignorer que des émissions d'acide carbonique et de carbonate de chaux sortent des granites les mieux caractérisés, et qui ne peuvent contenir la moindre trace de calcaire.

M. Poulett Scrope pense aussi que le foyer des eaux minérales est en dessous des terrains primitifs, et cette réflexion lui est suggérée surtout par la source de Rambeau, en Auvergne, qui sort du granite et qui a laissé dans la vallée des traces nombreuses de travertin calcaire. Il a même cru remarquer les indices d'un pont bien plus considérable que

celui de Saint-Alyre et qui aurait traversé toute la vallée, chose très-probable. Mais peut-être aussi la masse de travertin qui correspond de l'autre côté de la vallée est-elle le résultat d'une autre source aujourd'hui tarie, car M. Poulett Scrope pense comme nous, « que la quantité de matière » minérale amenée à la surface par de telles sources, était » beaucoup plus considérable dans les temps anciens, et » qu'elle diminue annuellement et sans cesse. »

DES ARRAGONITES.

Sans être à beaucoup près aussi communes que les calcaires, les arragonites se montrent dans les dépôts d'un grand nombre de sources thermales de l'Auvergne ; elles tapissent quelquefois de leurs cristaux aciculaires des géodes ou des cavités qui existent dans les travertins. Nous avons vu une magnifique géode d'arragonite cristallisée dont l'enveloppe est en fer sulfuré noir tachant. Elle provenait d'une des sources de Saint-Nectaire. Dans cette même localité, les fentes nombreuses du granite à travers lequel les sources s'échappent, sont tapissées de deux bandes d'arragonites dont les pointements se font face. Quelquefois les fentes sont entièrement remplies, mais toujours ces plaques d'arragonite sont zonées en gris, ce qui indique des intermittences, des arrêts ou des changements de conditions dans les eaux qui les ont produites.

L'arragonite existe en abondance dans les terrains formés par les sources de Gimeaux en Auvergne. De belles masses d'arragonites blanches et fibreuses remplissent toutes les fissures du granite de Châtelguyon et y constituent de vé-

ritables filons près des sources qui, ici comme à Gimeaux, s'écoulent encore sous un certain volume. A Coudes, c'est encore de l'arragonite blanche et fibreuse dont la source est tarie, qui cimente et réunit des cailloux roulés pour en faire un poudingue.

A Royat, l'arragonite a pénétré tous les travertins, elle a formé d'admirables druzes; elle a comblé avec l'hydrate de fer et des travertins calcaires, une vaste piscine romaine; elle a cristallisé dans l'intérieur d'ossements jetés par les Romains dans les eaux minérales; elle a cimenté les cailloux, les fragments de briques et de poteries, les pouzzolanes du volcan de Gravenoire, et a tout imprégné de ses cristaux.

C'est à des eaux minérales, aujourd'hui taries, qu'il faut attribuer ces magnifiques groupes d'arragonite en gros cristaux que l'on a rencontrés autrefois dans les pépérites basaltiques de Vertaizon.

Il y a donc dans les eaux minérales des conditions particulières qui déterminent la formation de l'arragonite plutôt que celle du calcaire.

Les cristaux isolés de l'arragonite d'Arragon se trouvent dans des gypses dans le voisinage de roches éruptives, espèces d'ophites analogues à celles des Pyrénées et qui ont ouvert la voie à des eaux minérales.

Nous n'avons trouvé jusqu'ici en Auvergne l'arragonite que dans les eaux chaudes, et, en effet, la chaleur est considérée comme une des conditions nécessaires à ce mode de cristallisation du carbonate de chaux.

Le colonel Yorke (*Philosophical mag.*, octobre 1841) cite un morceau de ce minéral produit artificiellement dans

une chaudière en cuivre qui servait à chauffer de l'eau à Port-Eliot dans le comté de Cornouailles. Il avait 4/10 de pouce d'épaisseur, et, par son pouvoir non conducteur du calorique, il avait causé la destruction de la chaudière.

En 1856 et en 1857, M. G. Rose a lu à l'Académie de Berlin d'intéressants Mémoires sur les états hétéromorphes du carbonate de chaux; on obtiendrait des formes différentes selon la température. Ainsi l'évaporation à la température ordinaire donne à la surface des rhomboèdres ou des rhomboëdres et des tables de spath; au fond du vase, des globules de craie; l'évaporation à une température plus élevée produit à la surface des prismes d'arragonite et des tables de spath, au fond du vase des rhomboëdres de spath calcaire.

Ce savant a trouvé que la limite de température à laquelle peut prendre naissance l'arragonite est située entre 30 et 50 degrés.

Il a remarqué aussi que, par voie humide et à une température élevée, le carbonate de chaux ne peut se déposer à l'état de spath calcaire qu'à la condition d'être entouré d'une atmosphère d'acide carbonique ou de se séparer au milieu d'un dégagement de ce gaz.

Par la voie sèche, on n'obtient à chaud que de la chaux carbonatée. D'où M. Rose conclut que les arragonites des basaltes sont dues à des infiltrations postérieures d'eaux contenant du carbonate de chaux dans des basaltes non refroidis. (*Bulletin de Genève*, mai 1818.)

L'arragonite est quelquefois associée au gypse, surtout au voisinage des roches éruptives, ce qui a fait supposer que la chaleur était indispensable à la création de cette forme

du carbonate de chaux. Nous avons cru nous-même qu'il devait en être ainsi en voyant cette substance cristalliser dans les eaux thermales ; mais M. Fournet a cité depuis longtemps les arragonites de Sainte-Marie-aux-Mines qui cristallisent à une basse température, et proviennent d'eaux froides, mais souvent impures.

CHAPITRE XVII.

Du Sulfate de chaux. — Du Fluorure de calcium. — Des autres combinaisons de la Chaux.

—

DU SULFATE DE CHAUX OU GYPSE.

Un grand nombre d'eaux minérales contiennent des quantités variables de sulfates divers et surtout de sulfate de chaux:

Ce que nous avons dit de la présence de l'acide sulfurique dans certaines eaux, doit nous faire conclure que par sa puissance de réaction, cet acide doit donner naissance à des sulfates chaque fois qu'il rencontre une base avec laquelle il peut se combiner. Nous ne pouvons douter que des émanations de cet acide, entraînées par des courants ou par des vapeurs, n'aient produit dans les terrains calcaires de grandes quantités de gypse qui a même pu conserver la stratification du calcaire, mais il faut admettre plus souvent des eaux apportant le gypse tout formé de l'intérieur du globe. Ce qui le prouve, ce sont ces petites assises de plâtre régulièment placées et alternant avec des couches calcaires plus épaisses comme on le voit à Corent en Auvergne.

Nous avons décrit aussi en parlant du terrain tertiaire des gîtes de plâtre assez réguliers, mélangés de fer hydroxydé et offrant tous les caractères d'un dépôt d'eau minérale. Nous avons du reste beaucoup de sources thermales qui contiennent du gypse.

L'apparition de cette substance en Auvergne, date de l'époque tertiaire et aussi de l'époque basaltique. C'est surtout lors de l'apparition des dikes que les sources réveillées et trouvant des issues par les fractures récentes ont amené cette substance minérale. De petites étoiles de gypse se montrent même dans les fissures du basalte. On trouve ces mêmes cristaux étoilés dans les schistes de Menat (Puy-de-Dôme).

Les eaux de Saint-Philippe, en Toscane, donnent lieu en quelques points à des concrétions séléniteuses, très-différentes du calcaire qu'elles déposent presque partout.

« Le Sahara algérien est formé d'après M. Ville, par un terrain quaternaire sur lequel on remarque de nombreux dépôts de gypse blanc farineux. Ces dépôts sont généralement traversés par des sources d'eau douce qui ont été probablement plus importantes autrefois, et qui ont produit les gîtes de plâtre par suite d'un phénomène de précipitation chimique. » (Ville, *Bull. de la Soc. géol. de France*, 2e série, t. XIII, p. 404.

M. Ville a indiqué aussi dans la province d'Alger un grand nombre de gîtes de gypse qui sont dus au métamorphisme de la roche encaissante. Ils doivent en grande partie leur origine à des éruptions de diorite qui auraient été accompagnées, comme la plupart des roches éruptives, d'émission de vapeurs sulfureuses ou même d'eaux minérales gypsifères.

Les gypses des Alpes et des Pyrénées, ainsi que tous ceux qui ne font pas partie des couches sédimentaires, doivent presque tous leur origine à la sortie de roches éruptives, telles que des ophites, des spilites, des serpentines, etc. La sortie de ces roches a frayé la route à des sources gyp-

seuses qui les ont déposés en connexion avec la roche conductrice. Il peut se faire aussi que dans ces mêmes circonstances, ces sources minérales aient amené de l'acide sulfurique, lequel aurait ensuite réagi sur des calcaires, mais il est plus probable que ces sources contenaient le gypse tout formé, comme celui qui existe en couches plus ou moins étendues dans les terrains tertiaires.

Nous pourrions citer beaucoup d'exemples de sources séléniteuses, mais ici il faut distinguer les sources ordinaires qui puisent le sulfate de chaux, lequel est un peu soluble dans l'eau, dans les terrains qu'elles traversent et celles qui l'amènent, à l'état de sulfate de chaux, des profondeurs du globe : ces dernières seules sont de véritables eaux minérales.

Ce gypse est du reste un des produits les plus abondants des anciennes sources. On trouve à Bex, dans le Valais, l'association du gypse, du soufre, du sel gemme et du calcaire. Quand ce calcaire contient du fer sulfuré ou de la galène, l'anhydrite le plus voisin en contient également. Le dépôt de toutes ces substances est donc contemporain. Il serait bien difficile d'attribuer leur formation à une autre action que celle des eaux minérales, car il existe encore soit dans le gypse lui-même, soit dans le calcaire argileux, des fentes et des cavités remplies d'un mélange de gaz sulfhydrique et d'hydrogène carboné. De Charpentier cite une de ces fentes qui fut percée le 11 mai 1818. « Elle avait à peine 2 à 3 lignes de large, il en sortait un peu d'eau faiblement salée, et en même temps, une telle quantité de gaz hydrogène, principalement carboné, qu'on pouvait entendre le bruit de ce dégagement de gaz à la distance de plus de 800 pieds. Lorsqu'on l'allumait, il produisait une flamme

jaune bien colorée, dont la hauteur variait depuis 6 pouces jusqu'à 5 pieds, selon que le dégagement était plus ou moins fort. Au bout de 8 jours, ce dégagement d'air a beaucoup diminué. » Il est difficile de voir dans la constitution de ce terrain autre chose qu'un ancien dépôt d'eaux minérales ; d'autant plus que les sources sont peut-être arrivées, tout en s'affaiblissant, jusqu'à l'époque actuelle. « Toutes nos eaux salées, dit de Charpentier, contiennent du gaz hydrogène sulfuré, et, ordinairement, celles qui en sont le plus chargées sont celles qui sont les plus faibles en salure. Elles déposent assez fréquemment un mélange de soufre, de chaux carbonatée et de chaux sulfatée en forme de stalactites, auquel Hauy a donné le nom de soufre *thermogème.* » (*Ann. des Mines*, t. 4, 1819, p. 555).

M. Boisse a remarqué aussi aux environs de Saint-Affrique les relations qui existent entre les dépôts de gypse qui appartiennent aux marnes irisées et les sources minérales nombreuses qui les avoisinent. Il émet, avec réserve, l'idée hardie à cette époque (1845) que ces sources pourraient bien ne pas être étrangères à ces dépôts gypseux. (*Ann. des Mines*, 4e série, t. 8, p. 30.)

La présence du gypse et de la dolomie dans la vallée du Tessin, près d'Airolo, semble indiquer l'apparition de sources ou de vapeurs qui auraient ou déposé ou produit ou métamorphosé les calcaires, et cela à l'époque de la fracture qui a déterminé la direction de la vallée. Les travaux de M. Lardy et ceux de Collégno sur la situation de ces dolomies viennent à l'appui de cette supposition. (*Bull. de la Soc. géol.*, t. 6, p. 106 et suiv.)

Le gypse se présente aussi en rognons dans les marnes, et en rognons alignés suivant le sens des couches. M. Co-

quand en a cité un exemple près de Monte-Cerboli en Toscane. Il est facile d'y reconnaître l'action de ces affinités électives qui séparent les éléments des roches avant et quelquefois même après leur consolidation. Les gypses, amenés par l'eau en même temps que les marnes et les argiles, s'en séparent comme les ménilites forment des rognons dans les calcaires.

La production du gypse par les eaux minérales, et cela à une époque probablement moderne, a été mise en évidence dans une lettre adressée par M. Pomel à M. E. de Beaumont, et datée de la province d'Oran en Algérie. M. Pomel cite sur la route de Sig à Saint-Louis, un amas considérable de gypse sans stratification, qui semble avoir rempli une fente ouverte dans les calcaires et argiles du terrain subatlantique. Vers les points de contact, on observe ces dernières dans un état de modification manifeste et comme lardées de veines et de petits amas de gypse cristallin.

« Le fond de l'échancrure, dit M. Pomel, ouverte profondément dans cette masse puissante de sulfate de chaux, présente des formes peu habituelles qui attirent immédiatement l'attention : ce sont des bossèlements qui interceptent des cavités cratériformes, dont le centre est souvent occupé par des soupiraux sans fond de 1 à 4 mètres de largeur, le plus souvent carrés, mais s'allongeant parfois sous forme de grandes fissures. Les parois de ces cavités sont de même nature que celles des flancs de la gorge, et présentent le même aspect et la même texture cristalline à grandes parties. Les bosselures sont, au contraire, formées d'un gypse à texture cristalline, cariée, à éléments beaucoup plus petits et n'admettant qu'accidentellement de gros cristaux plus ou moins clivés. Ce gypse est même assez souvent terreux ou

pulvérulent, et la disposition des bosselures qu'il forme, concentriques aux soupiraux et aux fentes, prouve manifestement que son origine est due à des phénomènes d'explosion ou d'éruption, dont les évents sont encore ouverts et remplis actuellement d'acide carbonique. »

« De ce point qui peut être considéré comme le centre du phénomène, part une petite colline se dirigeant vers la plaine, dontla masse est également gypseuse, mais où la texture cristalline est à peine manifeste. Dans ce gypse presque pulvérulent, et, pour ainsi dire tufacé, se trouvent épars des blocs plus ou moins volumineux de travertins pétris d'empreintes de tiges herbacées; des coquilles d'Hélices encore vivantes sur les mêmes lieux et ayant conservé leur couleur, sont renfermées dans ce gypse qui prend par places une apparence de stratification. Il paraît évident, d'après cela, que l'eau n'a pas été étrangère à ces phénomènes éruptifs qui ont dû avoir une grande analogie avec ceux des Lagonis et des volcans de Boue. »

M. Pomel ajoute : « Que les gypses stratifiés dans le fond d'un grand nombre de lacs et de plaines salées, qui n'ont subi aucune dénivellation depuis l'origine de ces dépôts, se lient tous ou la plupart à des points éruptifs. » (*Comptes-Rendus de l'Académie des Sciences*, t. XXXVIII, p. 836.)

M. Delesse regarde aussi le gypse de Paris « comme le dépôt d'eaux minérales qui se seraient épanchées dans des bassins particuliers d'où il serait résulté la formation de plusieurs grandes lentilles. Suivant la nature des eaux dans lesquelles il se précipitait, il entraînait tantôt plus, tantôt moins de carbonates qui étaient dissous à l'état de bicarbonates et qui se mélangeaient avec lui. »

M. Leymerie considère également les gypses des environs d'Amélie-les-Bains comme produits, postérieurement au terrain qui les renferme, par des eaux thermales séléniteuses et sulfureuses.

M. Delesse pense que les gypses du trias et du terrain permien ont la même origine, « car indépendamment de leurs analogies avec le gypse tertiaire, ils contiennent de la boracite qui s'y trouve quelquefois en quantité très-notable, comme à Strastfurt : or les phénomènes actuels nous apprennent qu'en Toscane l'acide borique est amené par des eaux thermales. D'un autre côté, en Hongrie, dans les Alpes vénitiennes, en Algérie, le gypse se montre associé à diverses minerais métalliques, et cette circonstance milite évidemment en faveur d'une origine souterraine. » (Delesse et Laugel, *Revue de géologie*, 1861, p. 143.)

Quant à l'explication que donne M. Delesse de la présence du sulfate de chaux comme provenant du lavage des sulfures oxydés à la surface de la terre, nous sommes loin de l'admettre, et nous considérons le gypse comme formé immédiatement dans les profondeurs du globe.

Tout en admettant cette dernière origine, nous ne voulons pas nier que, dans certains cas, le gypse ne soit le résultat de la réaction de l'acide sulfurique sur le carbonate de chaux; ici, comme dans beaucoup de circonstances, on prend encore la nature sur le fait. M. Sterry-Hunt a cité dans le Haut-Canada des sources très-riches en acide sulfurique libre, et qui sortent d'un calcaire silurien. « Ces gypses se trouvent toujours près de la surface de ces terrains, et se présentent invariablement sous la forme de mamelons dont la base a quelquefois un diamètre de plus de cent mètres. Ces masses reposent sur des couches horizontales, tandis que les lits

supérieurs, évidemment soulevés par le gypse, restent inclinés sur les côtés. »

« M. Murray, de la commission géologique du Canada, a donné la description d'un cylindre de gypse qui traverse plusieurs couches de calcaires, et se termine par un mamelon qui est tout-à-fait supérieur au calcaire et entouré par des argiles tertiaires. Cette origine récente de ces gypses confirme l'observation des habitants de ces localités dans l'Etat de New-York, où, d'après le professeur Dewey, ils ont pu remarquer, depuis l'établissement du pays, des soulèvements de la surface faisant osciller en quelques cas les murs de leurs maisons, indication certaine de la présence d'une carrière de gypse. » L'augmentation considérable de volume qui accompagne la transformation du calcaire en gypse se manifeste par le soulèvement des couches. » (*Compte rendu de l'Acad. des sciences*, t. 40, p. 1351.)

Dans l'anhydrite, l'eau qui manque à pu être remplacée soit par l'acide hydrochlorique, soit par la silice, ce qui n'a pas lieu dans le gypse hydraté. Il faut donc que les sources qui ont donné naissance aux dépôts salifères et gypseux aient aussi amené de la silice.

Non-seulement le sulfate de chaux anhydre peut être muriatifère ou silicifère, mais souvent il est calcarifère et de plus contient des fossiles comme à Montmartre. Il est impossible de ne pas reconnaître dans les grands dépôts gypseux et salifères la présence d'eaux minérales abondantes contenant divers principes qui, par leur affinité élective, se séparaient plus ou moins complétement. Le sel gemme, le gypse, le calcaire, la silice, l'oxyde de fer, ces éléments divers contenus aujourd'hui dans un grand nombre d'eaux minérales, ont pu former des couches ou

des amas distincts quoique provenant d'une seule et même source.

DU FLUORURE DE CALCIUM.

M. Jenzsch, dans de nombreuses analyses d'arragonites et de carbonates de chaux, a remarqué que ces carbonates sont toujours associés à de petites proportions de fluorure de calcium. D'après ce chimiste, dit le docteur Nicklès qui a puisé ces lignes dans les Annales de Poggendorff, la présence de ce fluorure est jusqu'à un certain point rendue tangible par l'action qu'il exerce sur les angles du rhomboèdre du spath et du prisme de l'arragonite, effet spécial produit par beaucoup de substances dont M. Nicklès lui-même a signalé plusieurs exemples.

Ce dernier chimiste a conclu de la présence du fluorure de calcium dans des minéraux formés au sein des eaux, que les eaux elles-mêmes et les eaux minérales surtout devaient contenir ce principe. En effet, les recherches de M. Nicklès ont constaté qu'il existait souvent des fluorures dans les eaux ; que les eaux potables de la Seine, de la Meuse, de la Moselle, de la Somme, de la Meurthe, du Madon, du Sanon, de l'Ill, en renfermaient ainsi que plusieurs puits de Paris, de Metz, d'Amiens, etc.; mais c'est surtout dans les eaux minérales que la présence du fluorure se manifeste; M. Nicklès n'a employé que six litres d'eau, et le fluorure s'est manifesté dans les eaux de 21 sources différentes, disséminées dans toute l'Europe. Parmi nos sources du plateau central, les eaux de Vichy sont les seules citées par M. Nicklès. Il a constaté le fluorure dans la source de Mesdames et dans celle de l'enclos des Célestins ou source Lardy qui paraît plus riche que celle de Mesdames.

Les concrétions calcaires que ces eaux produisent fournissent aussi des fluorures. Une de ces concrétions déposée lentement depuis 1853 autour de la buvette de la Grande-Grille, au niveau de la flottaison de l'eau minérale et contenant 80 p. 0/0 de carbonate de chaux, a donné des indications de fluorure, en employant seulement 200 grammes de matière, tandis qu'en opérant sur 500 grammes d'un fragment calcaire détaché de la cheminée d'ascension de la source de la Grande-Grille, M. Nicklès n'a rien trouvé. Il est probable que plusieurs des résultats obtenus par M. Jenzsch sur les spaths et sur les arragonites sont inexacts, et que ce chimiste, comme M. Nicklès lui-même, dans le commencement de ses essais, a été trompé par l'acide sulfurique prétendu pur qu'il employait. Mais en revanche, si M. Nicklès n'a pas trouvé le fluor dans le marbre blanc, il l'a rencontré dans le calcaire grossier des environs de Paris, dans le calcaire oolithique. M. Nicklès vient aussi confirmer un fait très-curieux observé par M. Fournet à Pontgibaud; c'est que de l'eau, chargée d'acide carbonique, peut à l'aide de la pression dissoudre du sulfate de baryte; or, M. Nicklès a remarqué que l'eau saturée d'acide carbonique dissout plus de fluorure de calcium que ne le fait l'eau pure, et d'autre part que ce fluorure peut même être dissous par le bicarbonate de chaux.

Il ne serait donc pas douteux que les filons ou les amas de fluorure de calcium ne sont autre chose que des dépôts d'eau minérale. Les eaux de Plombières, qui ont formé autrefois des filons de cette substance, en contiennent encore aujourd'hui en très-faible proportion.

Nous ne connaissons pas en Auvergne de source qui renferme encore ce minéral, mais autrefois ces émissions

avaient lieu sur plusieurs points, mais toujours accompagnées de silice. Nous en avons cité un gisement près d'Herment, un autre près la roche Cornet. Les concrétions siliceuses qui se trouvent dans ce dernier gisement, les salbandes qui l'accompagnent, les zones superposées que l'on y rencontre, indiquent parfaitement un travail de dépôt opéré dans un liquide dont la composition a été plusieurs fois modifiée.

Dans un grand nombre de sources, le spath fluor paraît avoir précédé le quartz, ou du moins si les eaux amenaient à la fois ces deux principes, le premier s'est nettement séparé pour cristalliser avant l'autre. Nous en avons un exemple en Auvergne dans les filons situés près de la Roche-Cornet, canton de Pontgibaud. Le quartz y recouvre le spath fluor, et souvent même ce sont des croûtes parfaitement concrétionnées qui se sont moulées sur les pointements des cristaux presque tous octaédriques.

M. Jutier a fait la même remarque à Plombières : « Le dépôt siliceux est venu recouvrir plus ou moins abondamment presque tous les cristaux de spath fluor, et parfois même les encroûter; par contre, on ne trouve jamais le quartz sous le spath fluor. Cette circonstance, ajoute M. Jutier, montre que si le dépôt de spath fluor a été la conséquence de la première émergence des eaux minérales au travers de la fracture qui venait d'être créée, ce dépôt s'est ralenti et a cessé pour être remplacé par un dépôt quartzeux, qui a disparu à son tour. Les circonstances qui l'ont produit n'existent plus. Il semble que l'on peut, en étudiant le filon, suivre, en quelque sorte pas à pas, les périodes successives du dépôt de spath fluor et l'influence de ce dépôt sur le granite environnant. En effet, on trouve, au toit, des

géodes tapissées de cristaux de grande dimension, injectées en quelque sorte au travers du granite non décomposé; puis le dépôt devient de moins en moins cristallin, de plus en plus abondant; bientôt il forme des couches rubanées qui rappellent, peut-être d'un peu loin, le souvenir des arragonites de Vichy; enfin vient un sable fluorique passant à la boue argileuse, reposant elle-même sur du granite décomposé et contenant tout un plexus de petits filons très-minces de spath fluor. » (*Comptes-rendus des séances de l'Acad. des sciences*, t. 47, p. 212.)

La chaux fluatée, reconnue dans les eaux minérales, a été indiquée, dès 1812, parmi les produits volcaniques du Vésuve, par Monteiro. Elle y cristallise constamment en octaèdres. Elle se trouve souvent dans les mêmes circonstances de gisement que le quartz et la baryte, et paraît aussi d'origine thermo-neptunienne. C'est encore un minéral de filon que l'on rencontre jusque dans les filons d'étain en Bohême et en Cornouailles. En la considérant comme étant d'origine neptunienne, il est difficile d'attribuer à des actions plutoniques les cristaux de topaze et d'émeraude qui lui sont quelquefois associés.

DES AUTRES COMBINAISONS DE LA CHAUX.

Le phosphate de chaux, comme le phosphate de soude et celui de magnésie, se trouve en petite quantité dans plusieurs eaux minérales et surtout dans leurs dépôts. Tout nous porte à croire que, sans avoir été jamais très-répandus, les minéraux qui sont formés de phosphate de chaux ont été déposés par ces eaux.

Ce phosphate ne forme pas, comme on l'a dit partout,

des montagnes aux environs de Logrosan, en Espagne ; il s'y trouve seulement dans de petits filons de quartz où il se présente sous forme de masses compactes et testacées.

On le trouve, du reste, dans les terrains les plus anciens, dans les filons d'étain du Cornouailles, dans les mines de fer oxydulé d'Arendal, dans le calcaire silurien du Canada, etc.

Le phosphate de chaux se présente souvent en rognons et en concrétions évidemment formés par l'eau. M. Mengy l'a signalé dans la craie de Rethel, dans les Ardennes. Ses nodules contiennent aussi de l'oxyde de fer. (*Comptes-rendus de l'Acad. des sciences*, t. 43, p. 755.)

Un nombre considérable de gisements de chaux phosphatée ont été indiqués dans la craie du vaste bassin anglo-parisien.

M. Debray est parvenu à créer, par voie humide, non-seulement l'apatite, mais un grand nombre de phosphates et d'arseniates, dont plusieurs étaient considérés comme des produits du feu. (*Ann. de chimie*, 3e série, t. 61, p. 419.)

La chaux boratée a été découverte au Pérou, dans des argiles tertiaires où elle forme des rognons peu volumineux à structure radiée.

L'axinite est un borosilicate de chaux et d'alumine avec fer et manganèse, dont la présence dans les filons de l'Oisans doit être due à la même cause que celle du quartz.

La datholite, ou chaux silico-boratée, se trouve, comme les zéolithes, dans des cavités de roches amygdaloïdes, et rien n'empêche de lui attribuer une origine aqueuse, puisque ses trois éléments existent encore dans les eaux minérales de notre époque.

L'apophyllite, qui est un silicate de chaux hydraté, a

été formée par des émanations aqueuses postérieurement aux terrains dans lesquels elle se trouve. Nous en avons la preuve en Auvergne pour celle qui tapisse les tubes du calcaire à phryganes du puy de la Piquette. Il en est de même sans doute de la variété qui existe dans les roches volcaniques de l'Islande et peut-être aussi de celle qui se trouve dans les roches amphiboliques de la Suède. Son association au Hartz avec la stilbite dans un filon de galène, vient aussi à l'appui de son origine thermo-neptunienne.

La chaux et la baryte peuvent aussi s'unir pour former un sel double. M. Brooke a trouvé dans les mines de plomb du Cumberland un carbonate double de ces deux bases.

CHAPITRE XVIII.

Des Sels de magnésie.

—

CARBONATE DE MAGNÉSIE.

La magnésie est un des principes les plus fréquents des eaux minérales ; elle est associée à plusieurs acides, mais surtout à l'acide carbonique, et c'est à l'état de bicarbonate qu'elle sort le plus ordinairement du sein de la terre.

Sous cet état, elle accompagne très-souvent le carbonate de chaux et se dépose avec lui en abandonnant aussi à l'atmosphère l'excès d'acide qui la constituait à l'état de bi-sel. Ces deux bases, la chaux et la magnésie, se sont donc précipitées en même temps, et ont constitué des couches très-puissantes aux anciennes époques géologiques. On désigne sous le nom de *Dolomie* le minéral qu'elles ont formé. Mais la plus grande solubilité du bicarbonate de magnésie, comparé au bicarbonate de chaux, qui a été constatée par MM. Rogers, expliquerait la prépondérance de ce dernier dans une foule de circonstances où le premier plus soluble aurait été entraîné.

Il n'en est pas moins vrai que la magnésie entre dans la composition d'un grand nombre de terrains, et que les eaux magnésifères ont joué un certain rôle dans la constitution de l'écorce solide de notre planète.

Non-seulement la craie et ses silex sont dus à des eaux minérales, mais celles-ci en traversant ensuite la craie ont

marqué leurs traces par la présence de tubulures verticales assez fréquentes dans la craie d'Angleterre et que les géologues anglais attribuent aussi à des sources.

M. Forchhammer a signalé à l'association britannique pour l'avancement des sciences (Birmingham 1849) un grand nombre de ces tubulures dans la craie de Faxoë, et au-dessus une couche de dolomie qui a dû être apportée par les eaux sortant des tubulures. On ne peut douter que cette dolomie ne soit le résultat de ces sources, car elle se présente en masses globulaires et pisolithiques semblables à celles qui se forment encore aujourd'hui dans les eaux de Carlsbad.

M. Forchhammer admet que le carbonate de magnésie n'était déposé par ces sources que lorsqu'il se faisait une réaction autre que le simple dégagement d'acide carbonique, et que la dolomie se formait là où les sources contenant de l'acide carbonique étaient en contact avec l'eau de mer. Les expériences qu'il a faites lui ont prouvé que la présence de l'eau de mer augmentait le précipité des carbonates de chaux et de magnésie. Cet effet est dû sans doute à la présence de la soude, car l'eau qui contient du carbonate de soude précipite une bien plus grande quantité de carbonate de magnésie. Cette quantité s'est élevée dans une expérience jusqu'à 27,93 pour cent du précipité.

M. Forchhammer a cherché aussi quelle serait la nature du précipité formé par quelques sources minérales, en les faisant réagir à la température de l'eau bouillante sur l'eau de mer, et il a obtenu avec l'eau de seltz 13,45 pour cent de carbonate de magnésie, avec l'eau de Pyrmond, 5,15 pour 100, avec l'eau de Wildingen 7,88 pour 100 du précipité. La quantité du précipité est aussi d'autant plus grande que la chaleur est plus élevée.

Ces curieuses expériences nous expliquent parfaitement les différences de proportions que nous trouvons à chaque pas dans les carbonates de chaux et de magnésie de nos calcaires de la Limagne. Les sources amenaient avec elles des quantités de carbonate de soude suffisantes pour tenir lieu d'eau de mer, d'autant plus qu'elles renfermaient aussi le chlorure de sodium, et la différence de température de ces sources a dû apporter aussi des variations locales dans les proportions relatives des carbonates de chaux et de magnésie. Cette dernière substance entre quelquefois pour la proportion de 15 pour cent dans les calcaires comme M. Baudin l'a démontré pour le calcaire marneux de Gergovia et de Grenier-Montgon.

On a voulu expliquer la dolomisation des roches calcaires par la présence du sulfate de magnésie réagissant sur du carbonate de chaux. On se basait surtout sur l'existence simultanée du gypse et de la dolomie. Mais les expériences de M. de Morlot (*Comptes-Rendus de l'Acad. des Sciences*, 6 mars 1848) ont prouvé que cette réaction ne pouvait avoir lieu qu'à une température élevée. A la température ordinaire, à celle de la plupart des eaux minérales, une dissolution de gypse, filtrée le temps nécessaire à travers la dolomie pulvérisée, transforme celle-ci en carbonate de chaux pendant qu'il se forme du sulfate de magnésie.

Les carbonates de chaux et de magnésie peuvent aussi provenir de doubles décompositions du carbonate de soude avec des sels solubles de chaux et de magnésie. Si ces décompositions n'ont pas lieu souvent dans les eaux minérales, elles doivent s'opérer dans la mer ou dans des bassins limités, et constituer ainsi des calcaires ou des dolomies.

M. Johnston a présenté en 1853 à l'Association britan-

nique réunie à Hull, des échantillons de calcaire magnésien formé par dépôt dans une source, près du village de Née-sham sur la rive septentrionale de la rivière Tees. Ainsi voilà une dolomie déposée de nos jours et directement par une source sans avoir besoin de faire intervenir le métamorphisme et les doubles décompositions. Cette roche, dit M. Johnston, possède la couleur, l'aspect général, la structure poreuse des calcaires du comté de Durham, et contient autant de magnésie que les lits les plus calcaires de ce comté. Le mode de production de cette roche fait présumer à l'auteur que tel a été en général celui des calcaires dolomitiques.

M. Moitessier a remarqué un dépôt de cristaux de dolomie dans les eaux de la source de La Malou conservées depuis six mois. Cette substance, dont le poids était de 1 gramme 5, s'était produite dans trois litres d'eau de la source de La Malou ancien ; d'autres bouteilles, recueillies à la même époque et placées dans des conditions en apparence identiques, n'ont pas donné lieu aux mêmes phénomènes. M. Moitessier attribue la formation de ces cristaux au dégagement très-lent de l'acide carbonique à travers quelques fissures du bouchon. L'analyse a démontré, en effet, qu'une portion assez considérable de ce gaz avait disparu dans le liquide où s'était déposée la dolomie, tandis que l'eau contenue dans les autres vases n'avait éprouvé aucune altération. (*Revue des Sociétés savantes*, 16 octobre 1863.)

On voit par ce fait combien les conditions en apparence les moins importantes, ont d'influence sur les formations dues aux eaux minérales.

M. Delesse cite à l'exposition de Londres les gros blocs

d'écume de mer de la nouvelle Galles du Sud. « Cette substance est très-abondante ; elle est intercalée dans le terrain houiller, en sorte que son origine paraît être lacustre ; telle est aussi l'origine de l'écume de mer et des argiles magnésiennes qui sont associées au gypse et aux terrains d'eau douce du bassin de Paris. (Delesse et Laugel, *Revue de Géologie*, 1861, p. 89.)

DU SULFATE ET DES AUTRES SELS DE MAGNÉSIE.

Le sulfate de magnésie existe dans un grand nombre d'eaux minérales, et quelquefois en assez grande proportion pour rendre ces eaux amères et purgatives, et pour que l'on puisse par la simple évaporation en obtenir de fortes quantités.

Nous citerons parmi les eaux de la France celles d'Uriage, qui en renferment 1 gramme par litre, celles d'Allevard, qui en contiennent 5 décigrammes, celles de Barbazan, où l'analyse en indique 6 décigrammes. L'eau de la mer en contient de 2 à 7 grammes par litre, et ce serait la Méditerranée qui en offrirait la plus forte proportion.

En général, le sulfate de magnésie est peu abondant dans les eaux françaises; mais on en trouve de fortes proportions dans les eaux de plusieurs sources de l'Europe. Pour un litre d'eau on a indiqué les quantités suivantes : Friedrichshall (Saxe), 4 grammes; — Cheltenham (Angleterre), 1,5 ; — Pullna (Bohême), 12 à 33; — Saint-Gervais (Suisse), 11 ; — Sedlitz (Bohême), 31 ; — Windsor-Forest (Angleterre), 2,4.

On connaît aussi en diverses parties de l'Afrique et de la Sibérie surtout, des lacs amers qui sont alimentés par des

sources minérales qui amènent incessamment la magnésie à l'état de sulfate.

La magnésie combinée à la silice, à la chaux, à la soude, au fer et à d'autres substances, entre dans la composition de nombreux minéraux qui, probablement, ont été formés autrefois par des eaux minérales. Nous en indiquerons plusieurs en parlant des silicates d'alumine, dont l'origine nous a paru neptunienne.

Les silicates de magnésie, non alumineux, tels que les serpentines, le talc, la stéatite et les nombreuses espèces qui en sont voisines ou qui constituent leurs variétés, nous paraissent éminemment plutoniques, mais la grande quantité d'eau qu'ils renferment ferait aussi soupçonner que des émissions aqueuses les ont accompagnés et ont pu abandonner des substances diverses au point de contact de ces silicates magnésiens avec les terrains qu'ils ont traversés.

La magnésie boratée existe en cristaux disséminés dans des gypses intercalés dans la craie de Lunebourg dans le Brunswick.

La magnésie phosphatée, qui paraît être d'origine aqueuse comme tous les sels de magnésie, a été trouvée dans une veine de quartz qui traversait un schiste argileux, près de Werfen dans le Salzbourg.

CHAPITRE XIX.

De l'Aluminium et de ses combinaisons.

DE L'ALUMINIUM.

L'aluminium, inconnu dans la nature à l'état métallique, a dû constituer, comme le silicium, des zones étendues qui se sont oxydées lors de la consolidation de la croûte extérieure de notre planète.

L'alumine, cependant, est moins abondante que la silice, ce qui peut tenir à la plus grande résistance à l'oxydation que l'aluminium présente à l'air et à l'eau.

Les sources qui contiennent de l'alumine sont rares à notre époque, à moins qu'on ne veuille considérer comme telles les salses qui, dans leurs éruptions intermittentes, rejettent des boues argileuses et bitumineuses. Peut-être même certains lits d'argile d'une extrême pureté sont-ils également dus, dans des terrains d'âges divers, à de véritables déjections boueuses.

Aux anciennes périodes géologiques, les eaux minérales, outre les principes qu'elles amenaient à l'état de dissolution complète, pouvaient encore être chargées de matières en suspension, telles que des argiles ou des boues diverses, et nous ne doutons pas de l'action que ces matières ont pu exercer dans le dépôt des grès et dans la consolidation de plusieurs roches sédimentaires.

La prédominance des sources alumineuses à certaines époques de la création des terrains, semble être indiquée par le grand nombre de minéraux à base d'alumine, auxquels il est permis d'assigner une origine thermo-neptunienne.

DE L'ALUMINE.

L'alumine pure ou hydratée est elle-même très-rare dans la nature.

La gybsite, ou hydrate d'alumine, qui accompagne le manganèse près de Richemont, dans le Massachussets, a certainement aussi été déposée par les eaux. Il en est de même probablement de l'hydrargylite de l'Oural, de la claussérrite du Brésil, dont nous ne connaissons pas bien les circonstances de gisement, et qui sont encore des hydrates d'alumine.

La présence de l'alumine pure, c'est-à-dire du corindon, dans les dolomies de plusieurs localités, indiquerait aussi une origine aqueuse, si l'on ne pouvait pas l'attribuer à une action métamorphique. Mais c'est aux points où le granite pénètre dans la dolomie que se trouvent les cristaux de corindon.

Il paraîtrait aussi qu'autrefois des sources calcarifères et alumineuses auraient donné naissance à un minéral particulier, à l'émeri, dont le gisement offre une singulière position. Partout où la présence de ce corps a été constatée, on l'a trouvé en masses plus ou moins volumineuses enclavées dans un calcaire grenu ou compacte, et jamais dans le gneiss ni dans les schistes siluriens. Certains échantillons d'émeri contiennent jusqu'à 4 pour cent d'eau, et la présence du diaspore, minéral essentiellement alumineux, doit

encore nous faire supposer que l'émeri a été amené comme le calcaire par des sources thermales de cette époque géologique.

DES SILICATES D'ALUMINE.

L'alumine en s'unissant à la silice et à d'autres éléments, constitue un grand nombre de minéraux dont nous croyons pouvoir rapporter l'origine à d'anciennes sources minérales.

D'abord se présentent ces minéraux gras au toucher, de couleur variable, toujours fortement hydratés connus sous les noms de *kollyrite*, *nontronite*, *halloysite*, *etc.*, minéraux dont la composition n'offre pas toujours des proportions définies.

Ces matières ont été nommées aussi *stéatite des basaltes*, parce qu'en effet elles sont souvent associées au basalte. C'est ce que l'on voit en Auvergne, aux environs de Pontgibaud, sous le basalte de Laudines, à la base de quelques dikes, près de Pontaumur, dans les basaltes de Corent, au puy de la Velle, etc. Cette matière est souvent mélangée avec les scories, elle en remplit les cavités. On la voit fortement colorée en rouge, comme les scories, par l'oxyde de fer, ou bien elle est verdâtre ou blanche comme de la stéatite.

On pourrait croire que ces minéraux alumineux sont arrivés au jour par suite de la rupture du sol par les éruptions basaltiques. Il semble pourtant, en quelques circonstances qu'ils les aient précédés, et nulle part nous n'avons pu reconnaître qu'ils les aient suivis.

Au puy de Corent nous avons recueilli au-dessus du calcaire d'eau douce, en contact avec les produits volcaniques, une de ces substances minérales qui a été déterminée par Alexandre Brongniart lui-même. Voici les caractères tels

que M. Bouillet et moi les avons décrits dans nos *Vues et coupes géologiques du département du Puy-de-Dôme*, p. 38 (*ouvrage épuisé.*)

« Substance rougeâtre très-friable, assez tendre pour être entamée par l'ongle ; structure celluleuse bien visible à la loupe. Fait effervescence avec les acides et abandonne beaucoup d'eau quand on la chauffe à la lampe à esprit de vin. Elle offre un assez grand nombre de cavités qui sont remplies par une matière gélatinoïde, à cassure subrésineuse qui paraît être de l'alumine hydratée. »

Dans le même ouvrage nous avons décrit sous le nom d'*argilolite compacte* un minéral qui ressemble beaucoup au précédent et qui se trouve près de Pontgibaud, entre le terrain primitif et le basalte de Laudines. Voici ses caractères :

« Pesanteur spécifique 2°, dureté bien plus grande que celle des argiles ; couleur gris-jaunâtre tirant un peu sur le bleuâtre ou sur le verdâtre ; structure fragmentaire en grand ; fissures tapissées de fer hydroxydé ; texture compacte ; cassure unie et souvent un peu conchoïde ; ténacité très-faible ; happe fortement à la langue et répand par l'insufflation une forte odeur argileuse. Elle fait une légère effervescence avec les acides, mais elle est due au dégagement d'une petite quantité d'air et non à de l'acide carbonique. Elle produit le même effet dans l'eau. Elle est inattaquable au chalumeau.

» Cette matière offre un grand nombre de fissures dans lesquelles l'eau s'infiltre sans pénétrer dans l'intérieur des masses. Celles-ci sont très-irrégulières et paraissent être le résultat d'un retrait qui aurait divisé toute la couche. En quelques-uns des points où le contact du basalte a eu lieu, l'argilolite prend un peu les caractères d'une thermantide.

» A Gergovia, sur quelques parties de la montagne, et principalement au-dessus de Merdogne et au-dessous du basalte supérieur, M. Fouilhoux nous a fait remarquer une substance grise en partie décomposée qui présente tous les caractères de celles que nous venons de décrire. Sa position tend à confirmer les observations de M. Fournet, qui, ayant analysé cette dernière substance, lui a reconnu les caractères et la composition de la nontronite de Berthier, et la regarde comme un des dépôts variés que les eaux minérales ont abandonnés sur le sol de l'Auvergne.

» Une substance analogue à celle que nous trouvons en si grande quantité sous les basaltes et dans leurs cavités, existe aussi aux eaux de Plombières et leur doit évidemment naissance.

« Cette substance (celle de Plombières), disent MM. Jutier et Lefort, est douce et onctueuse au toucher, blanche et traversée de couleurs variées du noir jusqu'au rose tendre, paraissant s'amollir et se fondre sous les doigts lorsqu'on la pétrit sous l'eau, a tous les caractères extérieurs du savon.

» Le nom vulgaire de *savon minéral*, qui lui est donné par les plus anciens auteurs, lui convient donc parfaitement, et sa présence sur le passage des eaux minérales, au sein de la roche vive, ne pouvait manquer de frapper les esprits les moins attentifs.

» L'analyse de cette substance faite par M. Nicklès a signalé un silicate d'alumine et un peu de sulfate de chaux. Il convient, dit-il, d'ajouter à ces substances, d'abord du bioxyde de manganèse, ensuite des traces notables d'arsenic, et enfin du silicate de manganèse qui colore quelques échantillons en rose, de la même manière que la nontronite et la delanouite, appartenant également à l'espèce

halloysite. » (Jutier et Lefort, *Études sur Plombières*, pp. 20 et 21).

On ne peut douter que cette substance ne soit déposée à Plombières par les eaux minérales. Rouveroy auquel on doit la découverte en 1680 d'une de ces sources, dit qu'elle sort d'un gros filon de matière savonneuse. Depuis lors, et tout récemment, la galerie des sources savonneuses, pratiquée au travers du granite, a mis à découvert des filons de spath fluor, de quartz, d'halloysite, etc., qui ont paru à MM. Jutier et Lefort, être en relation intime avec la nature et l'origine même des sources minérales de Plombières.

L'examen de l'halloysite dont mon savant ami Lefort a bien voulu me remettre un échantillon, et la comparaison de ses caractères avec ces matières minérales que nous venons de décrire, ne nous laissent aucun doute sur l'origine de ces minéraux stéatiteux si répandus en Auvergne, et toujours en relation avec d'anciennes émissions d'eau minérale ou avec des éruptions basaltiques.

« Les pierres des bassins de la Francisbrunnen et de l'Augenbadbrunnen, deux sources de Mehadia en Hongrie, sont recouvertes et comme incrustées d'une matière blanche savonneuse, qui se précipite au bout d'un certain temps du contact de l'air. » (Rotureau, t. I, p. 548). Cette matière ne serait-elle pas la même que l'halloysite de Plombières et que ces substances douces au toucher, véritables stéatites qui accompagnent souvent en Auvergne l'éruption des dykes de basalte.

Nous pourrions encore placer dans les dépôts des eaux minérales, un hydrosilicate d'un beau rose découvert par M. Mauduyt, près de Montmorillon, et analysé par MM. Damour et Salvetat. Ce minéral a cela de particulier,

qu'il est d'un beau rose et que cette coloration paraît due à une matière organique. Nous avons vu plusieurs fois dans des calcaires et des arragonites ayant cette même origine, des nuances très-pures de rose, de vert et de violet, et nous avons pu reconnaître que ces couleurs étaient dues à des Infusoires ou à des Conferves.

Ces combinaisons fortement hydratées de silice et d'alumine sont fréquentes dans la nature. L'halloysite de Silésie, comme celle de Liége, contient 25 pour cent d'eau. L'allophane de Dollingerberg, près de Freienstein, qui se trouve en petits rognons entre le calcaire primitif et le schiste argileux, en renferme 36 pour cent. La nontronite d'Autun en contient 28, celle de Nontron 18, et celle d'Andreasberg 21.

L'allophane a été trouvée aussi par M. Bineau dans la craie de Beauvais en filons peu épais.

Les hydrosilicates d'alumine, contenant quelquefois de la magnésie, nous avaient toujours semblé le produit d'eaux minérales, quand la découverte de cette substance par M. Jutier dans le sol traversé par la source savonneuse de Plombières est venue confirmer cette prévision.

Berthier, auquel on doit l'analyse d'un grand nombre de ces produits, les partage en deux groupes. Dans le premier se trouvent compris ceux dans lesquels l'alumine contient plus d'oxygène que la silice et qu'il désigne sous le nom d'*allophanes*. Dans le second, il place ceux dans lesquels la silice contient plus d'oxygène que l'alumine et qu'il nomme *halloysites*.

Berthier cite des gîtes abondants d'allophane découverts aux environs de Namur par M. Omalius d'Halloy. Ce sont évidemment des produits d'eaux minérales. Ce sont des ro-

gnons et des veines situées dans des argiles blanches. Ce minéral se présente sous divers aspects ; tantôt il est vitreux, transparent, d'un jaune de miel, ressemblant à du succin ; tantôt d'un blanc opalin, comme de la calcédoine; tantôt opaque, noir, éclatant, ressemblant à du jayet ; tantôt enfin à cassure cireuse, translucide, d'un gris plus ou moins foncé, ayant l'apparence d'un silex pyromaque. La calcination détruit toutes ces couleurs dues à de la matière organique. Ces allophanes, comme la nontronite de Nontron (Dordogne), contiennent un peu d'hydrate de magnésie.

Des silicates d'alumine hydratée se trouvent encore dans des gisements divers ; telle est la pholerite découverte et analysée par M. Guillemin dans les mines de Fins (Allier), et dans celles de Rive-de-Gier. Telle est l'hydrobucholsite de Thomson, et la gilbertite que l'on avait prise pour du talc et qui a été trouvée dans un filon d'étain en Cornouailles. Ces faits prouveraient qu'à toutes les époques les combinaisons de silice, d'eau et d'alumine se sont produites.

Nous n'oserions pas affirmer que l'eau ait joué un rôle quelconque dans des silicates d'alumine plus compliqués, tels que ceux de la famille des grenats, des épidotes, des idocrases, des méionites, de la gehlénite, mais l'association de plusieurs de ces minéraux à des calcaires cristallins ou compactes et à des dolomies, la présence de l'eau de combinaison constatée par les analyses, nous indiquent que s'ils sont des produits du métamorphisme, la vapeur d'eau, entraînant divers principes puisés dans le sein du globe, ne leur a pas été étrangère.

Les plutoniens peuvent nous accorder quelques produits mixtes dans les silicates alumineux, car ils en conservent certainement la majeure partie dans les granites et les por-

phyres, si l'on ne vient pas à constater d'intervention aqueuse dans la formation de ces roches.

S'il était démontré que, dans le granite, le quartz si abondant (tandis qu'il est si rare dans les produits volcaniques) provient d'une dissolution aqueuse de silice, il faudrait admettre la même origine et pour les pinites qui le remplacent dans certains porphyres, et pour les émeraudes de Limoges et d'autres localités qui se substituent aussi au quartz du granite.

Les émeraudes du Pérou, dont nous avons déjà parlé en nous occupant de la glucine, se trouvent dans des calcaires compactes relativement modernes. C'est encore dans le calcaire qu'existent les émeraudes de la Nouvelle-Grenade et les tourmalines vertes d'Algérie.

Le terrain qui renferme les émeraudes de Santa-Fé de Bogata et qui a été étudié par M. Lewy, appartient, d'après ce savant, au terrain néocomien ; il en contient les fossiles : il se compose de grès blancs, de grès rougeâtres, de marnes schisteuses noires et de calcaires compactes gris, souvent colorés plus fortement par le bitume. Les émeraudes y existent dans un filon de calcaire spathique, associé à des pyrites de fer et à un minéral nommé *parisite* qui serait du carbonate de Lantane.

Le gîte d'émeraude des vallées de l'Harrach, à 15 kil. de Blida en Algérie, est aussi dans un calcaire compacte de l'époque crétacée, dans lequel MM. Nicaise et Montigny ont reconnu l'Huître crétée et le *Belemnites mucronata*.

Si l'on en venait à considérer l'émeraude comme un produit neptunien, la glucine viendrait aussi se ranger au nombre des éléments apportés de l'intérieur du globe par les eaux minérales, ainsi que le tantale et le chrôme.

Le dipyre ou silicate d'alumine, de chaux, de potasse et de soude hydraté a été trouvé dans un calcaire argileux des Basses-Pyrénées et sur les bords de l'Arriége, dans une argile talqueuse. Ce sont des cristaux disséminés dont il serait difficile d'expliquer l'introduction par voie ignée. Peut-être faut-il joindre ici la couzeranite trouvée par de Charpentier dans un calcaire ancien des Pyrénées.

Le lapis-lazuli, silicate d'alumine et de soude, en outre très-compliqué de soufre, de chaux et de fer, disséminé dans le calcaire lamellaire ou saccharoïde, au Chili et aux environs du lac Baikal, pourrait aussi appartenir à un dépôt neptunien ; tandis que l'haüyne qui s'en rapproche par sa couleur et sa composition est évidemment volcanique.

La topaze est encore de l'alumine unie aux acides siliciques et fluoriques. On l'a trouvée associée au quartz hyalin, au béril, à la chaux fluatée, et ces associations militent en faveur d'une origine aqueuse. M. Brewster a cité aussi une topaze contenant un liquide épais, non dilatable par la chaleur, dans une cavité assez grande.

Enfin, nous devons encore placer parmi les silicates d'alumine et de magnésie, avec des quantités de fer plus ou moins considérables, les chlorites et les nombreux minéraux réunis dans ce groupe. Leur association au quartz cristallisé, leur dissémination dans les terrains de sédiment, leur présence dans les filons, accusent une origine aqueuse. Toutefois, l'étude de leurs gisements et de leurs associations n'est pas assez complète pour se faire toujours une idée précise de leur mode de formation.

DES ZÉOLITHES.

Depuis que la théorie plutonienne a menacé de détrôner

l'ancien neptunisme, les géologues ont reconnu qu'ils étaient obligés de se faire mutuellement des concessions, et l'école des eaux minérales est venue s'interposer et réunir les deux actions de l'eau et du feu. Toutefois, c'est au neptunisme plutôt qu'au vulcanisme qu'il faut rattacher la création des zéolithes et d'une foule de minéraux dont nous avons surpris le secret aux eaux thermales.

Tout ce que nous avons vu sur le plateau central vient à l'appui de cette puissance créatrice que nous accordons aux sources actuelles et à plus forte raison à celles qui jouissaient autrefois d'une plus grande énergie. Nos quartz, nos arragonites, nos minerais de fer, le dépôt du soufre, toutes ces actions et réactions des eaux se retrouvent partout où les conduits des sources actuelles ont été soigneusement étudiés.

Les zéolithes sont des silicates d'alumine plus ou moins compliqués, mais très-différents au point de vue de leurs formes cristallines.

M. Ch. Sainte-Claire Deville a fait la remarque très-intéressante que chaque espèce de zéolithe peut être considérée comme un feldspath additionné d'un certain nombre d'équivalents d'eau. Ainsi l'orthose et l'albite correspondent à la stilbite, à l'harmotome, à l'heulaudite, etc.; l'oligoclase à la chabasie, l'andésite à la laumonite, à l'analcime, etc.; le labradorite à la mésotype, à la mésolyte, à la lewine, etc.; l'anorthite à la thomsonite. M. Damour, auquel nous empruntons ces détails, après de nombreuses expériences sur l'hygroscopicité de ces minéraux, en conclut que « les zéolithes, bien qu'elles se trouvent communément engagées dans les soufflures, les cavités ou les filons de certaines roches considérées comme étant d'origine volcanique ou plutonique,

ont été formées par voie de dissolution aqueuse, et non par voie de fusion ignée, à la manière des laves. » (*Ann. de Chimie*, 3e série, t. 53, p. 459.)

M. Daubrée a signalé dans les briques, dans le béton et dans les travaux de maçonnerie en contact avec les eaux minérales de Plombières, diverses zéolithes ou silicates hydratés, dont la présence, dans cette circonstance, jette un grand jour sur la formation de ces minéraux dans nos produits volcaniques. L'apophyllite, la chabasie, l'harmotôme, la plombiérite (minéral nouveau), se forment encore, ainsi que l'hyalite, le spath calcaire, l'arragonite, la chaux fluatée, l'hydrocarbonate de chaux en lames nacrées.

C'est aussi à des eaux minérales postérieures aux basaltes ou contemporaines de leurs éruptions et de leur température qu'il faut attribuer nos zéolithes, nos spaths calcaires et nos arragonites. On ne pourrait expliquer autrement la présence de la mésotype dans les fragments de calcaire à phryganes enveloppés dans les pépérites du puy de la Piquette. La manière dont la mésotype entoure le bois noirci et silicifié de cette même localité, prouve bien que les zéolithes sont postérieures aux pépérites basaltiques dans lesquelles elles se trouvent, et qu'elles ne sont nullement un produit du feu. Il en est de même de toutes les substances minérales qui se substituent aux corps organisés par suite de pseudomorphose.

M. Daubrée a observé de petits cristaux de chabasie dans un béton romain baigné par les sources minérales de Luxeuil, et comme ces sources ne dépassent pas 46°, M. Daubrée en conclut que les zéolithes, mais en particulier la chabasie, peuvent se former à une température très-peu élevée. (*Bull. de la Soc. géol.*, 2e série, t. XVIII, p. 108.)

Collegno a indiqué la chabasie bien cristallisée dans des rognons renfermés dans un grès tertiaire supérieur des environs de Crevacuore, dans les Alpes. Il regarde cette chabasie comme étant plus moderne encore que le grès, et il attribue sa présence à des sublimations qui auraient accompagné l'apparition des mélaphyres. (*Bull. de la Soc. géol.*, t. 9, p. 230.)

M. Damour, dans ses Études sur les geysers d'Islande, a considéré aussi les zéolithes et surtout la mésotype, comme provenant de l'action de l'eau sur les trachytes. Il a fait remarquer que la composition de la mésotype moins l'eau est celle du ryacolithe contenu dans les trachytes. Il attribue, avec raison, à l'eau chauffée sous une forte pression, un pouvoir dissolvant que nous trouverions très-extraordinaire à la température et à la pression de l'atmosphère. (*Compte rendu de l'Acad. des sciences*, t. 24, p. 184.)

Les mésotypes sont des silicates d'alumine hydratés, déposés par des vapeurs aqueuses dans les cavités des roches volcaniques, en Auvergne, en Irlande, etc. Il faut admettre une origine analogue pour les silicates alumineux désignés sous les noms de scolezyte, mésolite, autrimolite, stilbite, heulandite, epistilbite, parastilbite, laumonite, etc.

M. Wôhler a reconnu que l'apophyllite se dissout dans l'eau à la température de 180 à 190° sous une pression de 10 à 12 atmosphères, et qu'elle cristallise de nouveau par le refroidissement.

Le dépôt contemporain des zéolithes de Plombières, dont je dois des échantillons à l'obligeance de M. Jutier, ne laisse aucun doute sur leur formation par les eaux minérales. Durocher a signalé aussi pour les belles zéolithes des îles Féroë, une origine tout à fait analogue à celle de nos

mésotypes d'Auvergne. « Elles se trouvent associées, dit-il, avec des minéraux dont l'origine est moins douteuse et beaucoup plus facile à expliquer ; avec le spath calcaire et la calcédoine en Islande et aux îles Féroë, et avec les gisements de quartz agathe dans le Palatinat. Il y a même beaucoup d'échantillons où l'on voit les zéolithes en recouvrement sur ces minéraux. Pour le spath calcaire et l'agathe, ajoute Durocher, personne ne doute actuellement de leur mode de formation : ces minéraux ont été déposés sous forme cristalline par un liquide contenant en dissolution de la chaux carbonatée ou de la silice ; c'est-à-dire pour les zéolithes un hydrosilicate d'alumine et de chaux ou d'alcali. » (*Ann. des Mines*, 3e série, t. 19.)

Les zéolithes sont donc généralement postérieures aux roches de trapp ou de basalte dans lesquelles on les trouve, et elles ne peuvent résulter de phénomènes de liquation ou de séparation de certains éléments de la roche fondue.

Les études de M. Domeyko sur la constitution du Chili lui ont fait découvrir un porphyre zéolitique contenant à a fois de la stilbite, de la laumonite, de la mésotype, de la scolezite, de l'épidote, de la prehnite, du spath calcaire et quelquefois de l'amphigène. Un autre porphyre contient de nombreux nodules de calcédoine. Ces porphyres paraissent accompagnés de brèches et de tufs qui les rapprochent des trachytes et des basaltes. Leur émission aura peut-être été accompagnée d'eaux minérales qui auront apporté les éléments des zéolithes et de la calcédoine. Ces porphyres alternent dans certaines localités avec des couches de deux et trois mètres d'épaisseur, de brèches et de tufs brèchoïdes dans lesquels on rencontre des troncs d'arbres silicifiés. Nous ne pouvons nous empêcher de voir dans la formation de ces

couches; l'intervention d'eaux minérales qui auraient fourni les matériaux des minéraux qui ont rempli après coup les cavités du porphyre. (*Ann. des mines*, 4e série, t. IX, p. 15.)

La prehnite (silicate d'alumine et de chaux) doit aussi avoir été déposée après coup en concrétions fibreuses dans les cavités des amygdaloides du grès rouge. Nous devons attribuer le même mode de formation à la chabasie, autre silicate d'alumine et de chaux. Il en est de même de la phakolite de Bohême. Ajoutons encore comme analogie de composition et de gisement la lewine du comté d'Antrim.

L'harmotonne qui est une silicate d'alumine et de baryte se trouve exactement dans les mêmes conditions que la stilbite et la plupart des zéolithes; il tapisse l'intérieur des géodes de roches amygdaloides à Oberstein et fait partie de cette multitude de minéraux qui se sont introduits par suite de vaporisations aidées de vapeurs d'eau, ou par suite de réactions diverses dans les cavités des roches. L'analcime (silicate d'alumine et de soude) et tous les minéraux que l'on considère à cause de leur système cristallin, comme appartenant à cette espèce, ont encore le même gisement, et de plus, existent aussi dans des filons métallifères auxquels il faut attribuer une origine thermo-minérale.

Quelques silicates d'alumine et de magnésie auxquels on a donné des noms particuliers présentent aussi les mêmes conditions de gisement.

DE L'ALUMINE PHOSPHATÉE.

Certaines formes radiées de la wavelite ou phosphate d'alumine peuvent avoir aussi une origine aqueuse.

La véritable turquoise qui est un phosphate d'alumine composé, se trouve en Perse, en petits rognons, dans des argiles ferrugineuses qui traversent des schistes et ne peuvent avoir une origine plutonique.

Quant à la websterite ou alumine sous-sulfatée, ses relations avec la craie ou les terrains tertiaires ne permettent pas de lui attribuer d'autre origine que celle des couches au milieu desquelles elle se trouve.

La gybsite du Massachussets est un phosphate d'alumine dont l'association au fer limoneux indique l'origine aqueuse.

CHAPITRE XX.

Du Manganèse et du Fer.

DU MANGANÈSE.

La présence du carbonate de manganèse dans les dépôts d'eaux minérales a été signalée depuis longtemps par Bergman, puis par Berzelius, dans un dépôt calcaire de l'eau de Carlsbad, mais l'exemple le plus remarquable est celui de la source de Coconuco, près Popayan.

« La source thermale, dit M. Boussingault, est située à l'entrée même du village; l'eau sort avec impétuosité de la roche trachytique qui constitue le sol de toute la contrée; il se dégage en même temps une quantité de gaz acides hydrosulfurique et carbonique tellement grande, qu'il serait imprudent de séjourner trop longtemps près de la source. L'eau forme, dès sa sortie, un ruisseau assez considérable; j'ai trouvé sa température de 72° 8.

» Le rocher d'où sort la source est recouvert par une concrétion déposée par l'eau elle-même. Cette concrétion qui est fort abondante, est d'un blanc sale, légèrement translucide; elle est formée de :

Carbonate de chaux..............	0,742
— de manganèse..........	0,210
— de magnésie...........	0,040
Sulfate de soude.................	0,008
	1,000

» Je laisse aux minéralogistes à décider, dit M. Boussingault, si une combinaison chimique déposée par une eau minérale, peut constituer une espèce dans le système minéralogique. »

M. Boussingault écrivait ces lignes en 1833, dans les *Annales de chimie et de physique*. On ne doute plus, aujourd'hui, que les eaux minérales ne puissent faire encore sous nos yeux, des espèces minéralogiques, et l'on est bien près de leur attribuer la plupart des minéraux des filons.

Le carbonate de manganèse a été indiqué par M. Bonjean, dans l'eau de Merlioz, près d'Aix, en Savoie.

Des traces de manganèse sont citées aussi par M. Filhol, dans les eaux de Barrèges de Luchon.

Tout nous porte à croire qu'à des époques géologiques plus ou moins éloignées de la nôtre, les sources manganésifères étaient bien plus fréquentes qu'aujourd'hui.

La plupart des minerais de manganèse présentent le caractère de formation aqueuse. Le minerai de Sargans, canton de Saint-Gall, en Suisse, analysé par Berthier, est un carbonate triple de chaux, de magnésie et de manganèse, que l'on rencontre çà et là, dans la masse de fer oxydé compacte exploitée pour le haut-fourneau de Plons.

Le manganèse de Ludwigsthal, dans le Wurtemberg, dont l'analyse est due au même chimiste, est en grains arrondis, de la grosseur d'une noisette, qui tous renferment dans leur centre une certaine quantité de sable argileux. Ces nodules ont donc été formés par concrétion; ils sont disséminés dans les amas de fer oolithique et contiennent le manganèse à l'état d'oxyde rouge. C'est un mélange d'hydrates de peroxyde et de deutoxyde de manganèse, contenant en

outre de l'hydrate de peroxyde de fer et un silicate hydraté d'alumine et de magnésie.

Le gîte de manganèse alcalin de Gy (Haute-Saône), décrit avec soin par Ebelmen, offre un dépôt d'eau minérale parfaitement caractérisé. Le manganèse oxydé y est mêlé de baryte et de potasse. Il se présente en noyaux fibreux engagés dans une guangue formée de chaux carbonatée en petits cristaux et d'argile ferrugineuse.

M. Delanoue a indiqué la présence d'une matière organique azotée dans les manganèses qui existent sur le bord occidental du plateau central de la France. Il y signale en outre des fossiles (un Astræa) parfaitement conservé. Il serait difficile, en présence de tels faits, de nier l'origine neptunienne du manganèse.

M. Fournet m'a donné une ammonite dont les chambres contiennent de jolis faisceaux de peroxyde de ce métal.

Le nord de l'Afrique si riche en dépôts d'eaux minérales, offre aussi sur certains points de l'oxyde de manganèse. M. Ville a décrit le gîte qui se trouve à la pointe N.-E. du Djebel-Tisgrarine, près de Laghouat. « Ce gîte se compose d'une matière colorée en noir par l'oxyde de manganèse associé à du gypse, et alternant en zones parallèles avec une matière jaune, tantôt sableuse, tantôt compacte. Dans ce dernier cas, cette matière jaune est cristalline et à surface extérieure testacée. Sa cassure, en travers, présente des aiguilles cristallines très-fines, où l'on distingue diverses zones parallèles à la surface extérieure. Cette manière d'être indique que cette matière jaune, de même que l'oxyde de manganèse, est le dépôt d'une ancienne source minérale aujourd'hui éteinte. Les vides qui lui donnaient jadis passage ont dû être considérables, car on observe plu-

sieurs dépôts irréguliers d'un mètre d'épaisseur sur 8 à 10 mètres de longueur. » (*Bull. de la Soc. géol.*, 2e série, t. XVI, p. 748).

Sans être aussi fréquent que le fer, le manganèse a été bien souvent amené par des sources. Bon nombre de cailloux roulés des terrains de transport de la Haute-Normandie, sont recouverts d'une croûte de deutoxyde de manganèse hydraté. C'est du moins le résultat des observations de M. Robert qui dit « que l'abondance des silex teints en noir par le manganèse est telle dans cette partie de la Normandie, qu'il faudra bien admettre un jour que ce métal a joué, à la surface de notre globe, un rôle plus grand qu'on ne le pense généralement; et lorsqu'on aura cessé de le confondre aussi souvent avec le fer, peut-être le verra-t-on dans nos descriptions futures, disputer le pas pour la coloration des grès et des argiles supérieures, et d'une grande partie du terrain de transport ou diluvien. » (*Comptes rendus de l'Acad. des sc.*, t. 17, p. 1289.)

M. Gruner, ingénieur en chef des mines, est aussi très-explicite sur le rôle important qu'il attribue aux eaux minérales. Après avoir rappelé l'opinion de M. Dufrenoy qui suppose que la formation des minerais de fer correspond au soulèvement principal de la chaîne des Pyrénées, lequel a évidemment frayé la route à des sources ferrifères, il ajoute que les minerais de manganèse de cette chaîne ont une origine analogue, une même direction, mais il les rapporte à une époque plus récente.

Ces minerais constituent des poches plus ou moins étendues, et leur nature terreuse ou concrétionnée vient tout à fait à l'appui de l'origine qu'il leur attribue.

En étudiant une de ces poches vidées dans le gîte infé-

rieur de Vielle, M. Gruner a reconnu dans le fond de la poche, au milieu de la roche calcaire, une fissure de 1 à 2 centimètres de largeur dont toutes les parties étaient garnies de rhomboèdres roses de carbonate de manganèse.

M. Gruner considère cette fissure comme la route suivie par l'eau minérale manganésifère. Il ne peut voir une action plutonique, quand le calcaire n'a pas été altéré et quand le dépôt est nettement distinct des parois, et il attribue ce minerai à des sources chargée des bicarbonate de ce métal.

M. Gruner suppose la même origine aux gîtes de Nontron et de Thiviers. (*Ann. des Mines*, 4[e] série, t. 18, p. 61.)

En décomposant le perchlorure de manganèse par la vapeur d'eau, à la chaleur rouge dans un tube de porcelaine, M. Daubrée a obtenu l'oxyde rouge de manganèse ou hausmanite en petits octaèdres réguliers qui ont la forme de l'oxyde naturel. (*Ann. des Mines,* 5[e] série, t. 1, p. 124.)

Les minerais de manganèse, généralement mal déterninés, ont permis aux minéralogistes de créer sur de simples analyses une foule d'espèces qui presque toutes se rapportent aux oxydes de ce métal. L'étude de ces espèces ou prétendues espèces nous a conduit à considérer le manganèse comme le produit des eaux minérales qui sont arrivées à une époque ancienne par suite de l'apparition de roches éruptives.

De même qu'en plusieurs points de l'Auvergne, la sortie du basalte a frayé le chemin à des eaux calcarifères, de même dans plusieurs parties des bords du plateau central, les roches primitives ont ouvert les voies à des sources manganésifères. Ces sources ont donné lieu à des amas, à des concrétions, à des stalactites et à des faisceaux de cristaux aci-

culaires que nous avons vus jusque dans les chambres des ammonites fossiles. Des terrains plus ou moins étendus paraissent avoir été pénétrés et colorés par des dissolutions de manganèse, et beaucoup de sources minérales actuelles en contiennent encore des traces. De nombreux minéraux, des terres, des argiles, sont aussi colorées par le manganèse qui partage avec le fer le privilége de se trouver partout et dans tous les temps.

Les carbonates, les silicates de manganèse, auxquels il faut ajouter les phosphates, constituent d'autres groupes faisant généralement partie des filons et peuvent pour la plupart se rapporter à des émanations ou à des dépôts d'eaux minérales.

DU FER.

Si la silice et le carbonate de chaux sont les minéraux qui se présentent le plus abondamment dans la nature, on peut dire que le fer est peut-être le plus fréquent. Il se montre dans tous les terrains, à toutes les époques. Le plus souvent il est combiné au soufre ou à l'oxygène. A l'état d'oxyde à divers degrés, oxydes purs ou hydratés, il colore une multitude de roches et de minéraux; il entre dans la composition des corps organisés qui l'empruntent au règne minéral, il existe dans les cendres des végétaux et dans le sang des animaux.

C'est encore un des principes le plus répandus dans les eaux minérales. A peine existe-t-il un suintement que le fer se dépose. Il paraît plus fréquent dans les eaux froides que dans les eaux chaudes.

Nous aurons à étudier le fer sous ces deux états principaux, les oxydes plus ou moins hydratés et carbonatés et

les sulfures. Les autres combinaisons du fer ont beaucoup moins d'importance. Nous les citerons après l'examen des oxydes et des sulfures.

Des Oxydes de fer.

Les fers hydratés, limoneux, fibreux (hématites) ou pisolithiques, si abondamment répandus dans la nature, semblent avoir partout une origine aqueuse, même dans les terrains volcaniques.

Nous avons vu en Auvergne, à Royat, dans la piscine romaine, des masses volumineuses de fer hydraté. Ce minerai remplissait les cavités du calcaire, et c'est ainsi qu'il se présente dans la plupart des travertins. A St-Alyre, à Clermont, il salit le carbonate de chaux destiné aux incrustations, ou bien on profite de la présence de cet hydroxyde pour colorer en jaune ou en chamois plus ou moins foncé les médaillons que fabriquent les eaux. A St-Nectaire on le rencontre dans les eaux et en amas considérables autour des sources.

Une grande quantité de terres dans les cantons de Billom et de Vic-le-Comte sont colorées en jaune ou en rouge par l'oxyde de fer que des eaux minérales, aujourd'hui taries, ont amené du sein de la terre.

Partout où ces anciennes sources ont produit des quartz et des silex, qui se sont concrétionnés sur leur point d'émergence, le fer colore non-seulement les quartz et les silex, mais tout le terrain environnant. Les meulières de Chavaroc se sont solidifiées au milieu d'un magma ferrugineux. De petites masses d'hydrate de fer sont restées emprisonnées dans les cavités des meulières. Ici, comme à la Ferté-sous-Jouare, il faut attribuer toute la formation

des meulières à des sources ferrugineuses, bien qu'elles n'existent plus.

En reculant dans la série des terrains, nous voyons partout l'introduction des sources minérales dans la productions du fer.

Nos argiles rouges de la Limagne d'Auvergne et celles de la Haute-Loire doivent à cette cause, alors puissante, leur coloration rouge et verte. Le fer, dans le voisinage des sources, comme à Barre, était quelquefois si abondant qu'il a formé des pisolithes, soit par le mouvement des eaux, soit plutôt par l'établissement d'une multitude de petits centres d'attraction, dans une masse qui n'était pas encore solidifiée. Les phénomènes d'attraction qui se sont passés dans les oolithes, dans les boules de granite et dans l'univers entier, lors de la consolidation des astres, se sont reproduits en partie autour de nos sources minérales ferrugineuses. Le fer, plus que toute autre substance, tend à s'agglomérer ainsi.

Nous avons vu, dans le beau cabinet minéralogique de Turin, une géode composée de couches concentriques de fer oligiste dont tout l'intérieur était plein de sable rougeâtre. C'était une concrétion évidente comme ces pierres d'aigle ou œtites, quelquefois si volumineuses, qui se sont formées dans nos conglomérats trachytiques après leur dépôt.

M. Coquand a signalé le fer oxydulé engagé en rognons dans les minerais jurassiques de fer hydroxydé de Veuzac, près de Villefranche d'Aveyron, et M. Fournet avait déjà attribué une origine aqueuse au fer oligiste métalloïde qui s'est substitué aux coquilles des environs de Semur.

Beaucoup de minéraux que l'on considérait autrefois

comme les produits exclusifs du feu ont été obtenus par voie humide. De Haldat a produit des cristaux artificiels d'oxyde de fer et d'oxyde de zinc; M. Becquerel a fait cristalliser, par voie humide, des sulfures, des iodures, des brômures de divers métaux, des oxydes, etc. (*Ann. de Chimie*, octobre 1829 et septembre 1832.)

Dans la craie, la silice s'est nettement séparée de la solution, et il en a été de même du fer oxydé, lequel parfois forme dans la craie des nids considérables d'ocre jaune, comme ceux qui existent en Russie dans le gouvernement de Simbirsk et qui ont été décrits par M. Jasikoff. C'est en grand ce que nous avons vu faire en petit dans l'ancienne piscine romaine de Royat.

La mine de fer de la Voulte (Ardèche), est encore le résultat d'un dépôt d'eau minérale. Le fer oligiste y est associé au calcaire, au carbonate de magnésie et quelquefois au carbonate de manganèse ou au peroxyde de ce métal, à de la silice et à de l'alumine.

C'est surtout dans les terrains jurassiques que se trouvent ces immenses dépôts de fer en grains que l'on exploite depuis longtemps.

La forme sidérolitique que prend l'oxyde de fer n'indique pas cependant un âge précis, pas plus que la forme oolithique du calcaire; cette forme s'est présentée dans un grand nombre d'étages, quand les mêmes circonstances se sont rencontrées.

M. Thirria, dans un Mémoire très-détaillé sur les minerais de fer en grains du Berry et de la Franche-Comté, n'hésite pas à rapporter la formation de ces minerais à des sources minérales qui se seraient fait jour à l'époque tertiaire, à travers les terrains jurassiques. Le fer et le manga-

nèse auraient été dans ces eaux à l'état de protoxydes, mais ces eaux auraient tenu en outre en dissolution du carbonate de chaux ainsi que des phosphates de fer et d'alumine.

» Les sources d'eaux minérales et thermales qui ont déposé les minerais de fer en grains de la Franche-Comté et du Berri, dit M. Thirria, devaient avoir une composition analogue à celles de nos sources actuelles, dont les eaux sont chargées d'acide carbonique, et forment, en arrivant au jour, des dépôts calcaires concrétionnés, toujours plus ou moins ocreux, dépôts qui sont essentiellement composés de carbonate de chaux et de magnésie, d'oxyde de fer et de silice, et qui contiennent souvent des phosphates de chaux, de fer et d'alumine. Seulement ces anciennes sources tenaient en dissolution une proportion plus considérable de carbonate de fer; l'acide carbonique y existait en plus grande quantité, et leur température devait être plus élevée que celle des sources actuelles. » (*Ann. des Mines*, 4e série, t. 19, p. 75.)

M. A. Gressy regarde avec raison tout ce terrain ferrugineux comme produit par des sources et des émanations minérales qui se sont fait jour à l'époque de la craie, lors du soulèvement jurassique. Le fer aurait été abandonné par des eaux en ébullition à la manière des geysers. M. Gressy a même indiqué, dans les parties les plus disloquées du Jura, de petits cratères formés par des déjections de ces sources sableuses et ferrugineuses (*Bull. de la Soc. géol.*, 2e série, t. 1, p. 742.)

L'abbé Raquin attribue la même origine au minerai de fer de Semur: « La présence de si grande quantité de fer au milieu des argiles, ne peut s'expliquer, dit-il, que par l'hypothèse de sources siliceuses et ferrugineuses qui se-

raient venues de l'intérieur et auraient déposé, surtout autour des points où elles jaillissaient, les éléments qu'elles tenaient en dissolution. On conçoit alors comment le minerai de fer se trouve répandu çà et là dans toute la formation argileuse en amas plus ou moins riches. On conçoit aussi que les eaux des lacs où arrivaient ces sources étaient colorées par le fer dans toute leur masse, et qu'ainsi les argiles qui se déposaient dans leur sein, ont dû aussi être généralement colorées. » (*Bull. de la Soc. géol.*, 2e série, t. 4, p. 307.)

La proximité des travertins et du fer pisolithique, signalée par M. Robert dans la vallée de Charmos, sur les frontières de la Suisse, vient aussi appuyer cette manière de voir. (*Bull. de la Soc. géol.*, t. 1, p. 88.)

La position du fer dans les terrains jurassiques du Gard et de la Lozère, ne nous laisse aucun doute sur l'origine de ce métal. Les mêmes raisons tendent à nous faire croire que des minerais de fer bien plus anciens, appartenant à des époques antérieures au lias et même au trias, sont dus aux mêmes causes, à des émissions d'eaux minérales. Nous leur attribuons les fers hydratés et carbonatés que l'on rencontre en Auvergne dans les micaschistes des cantons d'Herment, du Bourg-Lastic et de Combronde.

Certaines masses de fer hydroxydé très-anciennes de Roure et de Rosier, près Pontgibaud, ressemblent, à s'y méprendre, à des masses recueillies à Vichy et déposées par la source des Célestins.

Beaucoup de fers oxydulés et le fer titaniaté sont certainement d'origine plutonique et peuvent même remplacer le mica dans quelques roches primitives ; mais d'autres minerais de même nature existent dans les terrains jurassiques

et peut-être les mines célèbres de l'île d'Elbe sont elles-mêmes d'origine aqueuse.

Quant aux hématites fibreuses rouges ou brunes, elles sont bien le résultat, comme le fer pisolithique, de sources ferrugineuses. Il en est de même de certains fers oligistes. Il est probable que plusieurs d'entr'eux et même la plupart sont postérieurs aux terrains dans lequel on les rencontre, tandis que d'autres sont contemporains du calcaire au milieu desquels ils forment des rognons, des amas, des couches ou des lentilles.

Le dépôt des beaux fers oligistes spéculaires ou octaédriques du puy de Dôme et du Mont-Dore, est dû à des sublimations produites par une chaleur plus ou moins intense, mais certainement sous l'influence de vapeur d'eau qui entraînait le métal. Il y a une grande analogie entre ce fer sublimé par les volcans et celui que les eaux thermales abandonnent.

Il arrive souvent que ce fer déposé par les eaux présente de magnifiques cristaux irisés, tels que ceux de l'île d'Elbe et ceux de Framont. Ces cristaux offrent toutes les couleurs des lames minces et peuvent être comparés à des morceaux de métal, à du cuivre, par exemple, qui, par un coup de feu, aurait acquis des couleurs irisées. Mais on sait très-bien que cette irisation se présente souvent sur des produits d'origine aqueuse. Témoins ces belles masses de houille irisée et ces belles pyrites de Menat formant des nodules au milieu des schistes couverts d'empreintes de végétaux. Au reste, la contemporanéité du fer oligiste et du fer oxydé rouge avec les calcaires du Jura et d'autres calcaires, est prouvée par la présence dans ces terrains de moules de coquille entièrement formés par le minerai de

fer qui a dû remplir la coquille ou même s'y substituer molécule à molécule, comme la silice dans les bois fossiles.

Quant au fer hydroxydé, c'est toujours un produit des eaux, soit que les eaux minérales l'amènent directement du sein de la terre, soit que les eaux courantes chargées d'acide carbonique le reprennent et le remanient pour nous le représenter sous des formes nouvelles. L'hématite brune, la pierre d'aigle, les pisolithes, les fers hydratés terreux, limoneux, les ocres, les pseudomorphoses, ne sont que des états différents du fer amené par les eaux. Les carbonates ou fers spathiques sont, comme tous les carbonates, des produits neptuniens. Leur présence même dans des terrains anciens de gneiss et de micaschistes y indique le passage d'eaux thermales et ferrugineuses qui ont continué longtemps de s'épancher ou qui, peut-être, sont bien postérieures au terrain primitif, car le fer carbonaté existe dans les Pyrénées, par exemple, à Baïgorry, dans des grès bigarés.

Mais ce fer oxydé hydro-thermal a une très-grande tendance à se combiner, soit à l'acide carbonique, soit surtout aux matières organiques. Les acides crénique et apocrénique, indiqués par Berzélius, sont presque toujours unis à cet oxyde. L'attraction des parties végétales pour l'oxyde de fer est si grande, que les végétaux morts, les vieilles racines, etc., décolorent les sables et les terrains ferrugineux, et, selon M. Kindler, en rendent l'oxyde soluble. Cet oxyde peut aussi être entraîné par l'eau et rendre ferrugineuse l'eau de certaines sources qui déposent ensuite l'oxyde de fer en flocons gélatineux.

Nous avons dans notre collection un magnifique morceau de Bouleau, retiré d'une tourbière de la Sibérie, dans

lequel toutes les fibres, tous les vaisseaux, ont conservé leur place et leur intégrité, mais sont changés en fer hydroxydé. C'est une action toute contemporaine qui s'est exercée.

M. F. Kuhlman a vu à Dunkerque le bois d'un affût de canon qui avait séjourné longtemps dans l'eau, entièrement transformé sur une certaine étendue en limonite, qui avait conservé l'organisation fibreuse du bois. Ce curieux transport avait eu lieu par l'oxydation du fer employé dans la construction de l'affût. A mesure que l'oxyde se formait, il remplaçait à l'état naissant le carbone du bois qui disparaissait ; et chaque fois que des corps organiques se trouvent en contact avec des solutions ferrugineuses, les mêmes effets se produisent. (*Compte rendu de l'Acad. des sciences*, t. 49, p. 975.)

Tous les fers limoneux que l'on exploite et les gîtes de cet hydroxyde répandus partout, ne sont donc pas toujours formés par les eaux minérales. Une partie de ce fer est aussi fournie, comme nous venons de le faire remarquer, par la décomposition des roches au moyen de la végétation. Nous voyons en Auvergne, dans une foule de localités, des eaux stagnantes ou des espèces d'infiltrations ferrugineuses qui se montrent surtout dans les prairies marécageuses. Ces petits dépôts ferrugineux, orangés et gélatineux, contiennent, outre l'hydroxyde de fer, du crénate et de petites Algues accompagnées d'Infusoires. Il y a là tout un monde martial, et l'accomplissement de ces métamorphoses, la succession de toutes ces existences éphémères, finit quelquefois par constituer, à d'assez grandes distances de leur point d'origine, de véritables couches de minerais. M. Daubrée a très-bien expliqué, dans un savant Mémoire (*Ann. des Mines*, 4e sé-

rie, t. 20), le rôle des matières organiques pour opérer la séparation du fer des terrains qui le contiennent. Il suffit de la présence de ces matières et du ralentissement d'un cours d'eau pour que du fer, en quantité si faible qu'il est insensible aux réactifs, soit séparé et se dépose. Mais ce fer a nécessairement été enlevé par les eaux pluviales et courantes aux terrains qu'elles ont traversés, et le fer de ces terrains y a été déposé antérieurement par des sources aujourd'hui taries; de telle sorte que, pour le fer comme pour le calcaire, il faut toujours chercher l'origine en dessous des terrains primitifs.

Ce sont les végétaux qui s'occupent de dissoudre le fer contenu dans les terrains où s'enfoncent leurs racines. Ils décolorent le sol à une petite distance, et lors de leur décomposition, l'oxyde, à divers degrés d'oxydation, se précipite avec une matière gélatineuse organique. Ces mêmes effets ont lieu depuis longtemps, et ces petites couches ferrugineuses, si fréquentes dans les terrains tertiaires et dans les terrains d'alluvions, ces petites couches qui souvent séparent des assises plus puissantes, indiquent des surfaces sur lesquelles la végétation s'était établie autrefois et dont les niveaux se sont successivement élevés par des dépôts ultérieurs. Quand les surfaces ont été découvertes pendant un temps suffisant pour permettre à la végétation de se développer, les plantes ont puisé le fer de cette couche et l'ont ramené à la partie supérieure. Mais ces effets curieux sont bien plus sensibles quand des suintements d'eau minérale arrivent jusqu'à la surface du sol.

Il en est cependant de ces fers limoneux comme de la tourbe; ils se produisent surtout dans les marais des montagnes ou dans les climats du nord. L'activité de la végé-

tation dans les pays chauds, la rapidité de la décomposition de leurs débris s'oppose à ces curieuses réactions. Dans le nord, au contraire, toutes les conditions sont réunies pour la création de ce minerai, et dans les grands lacs de la Suède et de la Norvège des ouvriers mineurs d'une espèce toute particulière s'occupent à séparer le fer des eaux qui le charrient pour le mettre à la portée des hommes.

Certains Infusoires accaparent le fer pour leur carapace, comme d'autres recherchent le calcaire ou absorbent la silice. M. Erenberg a reconnu que le *Gaillonella ferruginea* fournit en grande partie le fer limoneux qui se dépose encore journellement dans les mares et dans les fossés. Mais d'où proviendrait le fer nécessaire à leurs téguments, si des eaux minérales ne l'amenaient encore ou ne l'avaient amené autrefois des profondeurs du globe?

Le dépôt de ces minerais de fer n'est pas un simple accident local. On voyait à l'exposition de Londres des échantillons de ces nombreux Infusoires métallurgistes qui travaillent avec tant d'activité dans les lacs de la Suède, que leurs produits sont exploités. On rencontre aussi ces singuliers Infusoires dans les cours d'eau, surtout dans la province de Smoland. Cet oxyde de fer contient de la silice, de l'acide phosphorique, et souvent aussi de l'oxyde de manganèse, qui doit avoir la même source que l'oxyde de fer.

« Ces minerais qui présentent plusieurs variétés distinctes, suivant l'espèce d'Infusoire dont les dépouilles sont dominantes, se trouvent toujours dans le voisinage des roseaux ou sur les talus des bas-fonds des lacs les plus grands et les plus profonds. Les gisements ont de 10 à 200 mètres de longueur, de 5 à 15 mètres de largeur, de 2 à 8 décimètres d'épaisseur. »

« Le minerai existe partout dans les mêmes circonstances. Si une rivière ou un ruisseau traverse plusieurs lacs, on est assuré de trouver le minerai dans tout le parcours, surtout aux points où l'eau est paisible, car les courants violents s'opposent, par leur rapidité, à leur formation en enlevant les atomes pour les porter dans des eaux plus paisibles. »

« En 1847 et en 1849, M. Sjogreen, profitant d'une baisse considérable qui s'était opérée dans un lac de son voisinage, étudia la formation du minerai de lac sur les bas-fonds même où l'on peut le rencontrer. »

« Sur plusieurs endroits de ces bas-fonds, alors parfaitement visibles, se trouvaient de petites dépressions plus ou moins remplies d'eau. Là s'offrait un spectacle merveilleux. Au fond de ces dépressions, dont le diamètre variait entre 15 centimètres et 1 mètre, on voyait s'agiter sur le minerai de petits êtres de différentes tailles, les uns visibles à l'œil nu, les autres si petits, que, sans une loupe, ils seraient restés invisibles. Tous étaient activement occupés à s'enfermer dans leur enveloppe métallique, comme le fait la chenille dans son cocon. Pour le spectateur, le travail semblait s'opérer de la façon systématique que voici : »

» Le petit être, à l'aide d'un réseau de filaments noirs et fins, dessinait la forme extérieure du grain ; la charpente de l'édifice était faite avec un vide au centre, et l'extérieur, en tout semblable à l'intérieur, quoique six ou huit fois plus grand. Du centre où il était placé, il groupait autour de ces filaments des rayons d'une couleur brune, s'enfermant, se murant avec une volonté prodigieuse, jusqu'à ce que son œuvre eut pris l'apparence des œufs de grenouille, sauf la couleur qui était brune.

» Si l'on met dans sa main ce globule avant qu'il soit entièrement achevé, on voit travailler le petit être ; mais faites couler l'eau doucement et tout s'écroule en une masse plate dans laquelle de faibles mouvements sont visibles pendant quelques instants encore, puis tout s'arrête bientôt et à tout jamais.

» On doit remarquer que ces petits êtres ne font pas de globules de la même grosseur, mais que les dimensions du globule sont toujours proportionnées aux dimensions de l'animal qui doit y habiter.

» En groupant toutes ces observations, l'auteur du travail qui nous occupe, pense que le minerai de lac est produit par des infusoires qui vivent dans les cours d'eau ; que ces infusoires choisissent pour parfaire leurs travaux, et des eaux et des fonds à leur convenance ; enfin que les eaux calmes, sans courants, leur sont indispensables, car on ne trouve jamais de minerai au milieu du courant des rivières, et si la rivière fait un coude, jamais on ne trouvera de minerai que dans la partie intérieure ou concave de la courbe.

» Le minerai ne se rencontrant que sur certains points, sur les fonds de sable ou d'argile, et n'étant pas répandu partout uniformément, on peut en conclure qu'il est dû à une cause organique, car si c'était un précipité ou un sédiment, il serait distribué également sur tout le fond du lac. S'il était dû, au contraire, à l'action des eaux sur certains terrains, on le trouverait dans le même lac, partout où se rencontre ce terrain, ce qui est contraire à l'expérience.

» Le minerai existe sur certains points, toujours les mêmes, en bancs réguliers. En l'examinant avec soin, on voit l'animal dans chaque grain à l'état pétrifié, mais bien reconnaissable encore à sa forme et à sa couleur ; et il est

probable que la petite quantité d'acide phosphorique que décèle l'analyse, est due à l'existence de ces êtres, qui après avoir accompli leur tâche au fond des lacs, s'enveloppent dans le métal pour mourir en repos.

» Le minerai des lacs se reproduit assez facilement; on peut citer des lacs d'où l'on avait extrait tout le minerai; *vingt-six* ans plus tard, le minerai avait *repoussé* et formait des bancs de plusieurs décimètres d'épaisseur. » (Oscar de Watteville, *Journal général de l'Instruction publique*, vol. 31, n° 67, 1862.)

Nous devons le répéter, il est impossible que les Infusoires produisent du fer, il faut donc que des eaux amènent ce métal et qu'il y ait des sources suffisantes pour subvenir aux besoins de ces innombrables générations d'Infusoires qui en vingt-six ans créent des couches exploitables.

Il y a dans cette localisation du minerai, dans cette élection de domicile, quelque chose qui rappelle tout à fait la dispersion irrégulière des minerais pisolithiques des terrains jurassiques. Nous n'oserions cependant assimiler complétement leur formation à celle des minerais actuels des lacs de la Suède. Les anciennes causes agissantes avaient une tout autre énergie, car dans le groupe oolithique de Clinton, près la rivière de Génessée, dans l'Amérique Septentrionale, M. de Verneuil cite une couche très-ancienne de fer oolithique épaisse de 50 centimètres environ, et qui peut être suivie sur une distance de 160 kilomètres. (*Sur le parallélisme des roches paléozoïques de l'Amérique Septentrionale et du Nord de l'Europe. Bull. de la Soc. géol. de France*, 2e série, t. IV, p. 655.)

Nous devons dire cependant que M. Bischoff a observé dans l'Eiffel, des sources gazeuses tellement ferrugineuses

que si le ruisseau n'entraînait pas dans le Rhin la plus grande partie du carbonate et de l'oxyde de fer qui tendent à se précipiter, on pourrait retirer de ces sources environ 2,000 kilogrammes de peroxyde par 24 heures. Un tel dépôt, à l'époque actuelle, suffit pour expliquer la formation des couches et des amas d'hydrate et de carbonate de fer qui ont eu lieu à toutes les époques géologiques.

Les êtres organisés peuvent puiser du fer dans des eaux qui n'offrent à l'analyse chimique aucune trace de ce métal. C'est ainsi que M. Targioni-Tozzetti, professeur de chimie et de botanique à Florence, n'a pu reconnaître le fer dans les eaux thermales de Rapolano. Cependant il a rencontré cet élément dans des Oscillaires qui vivent dans ces eaux. « On ne voit pas, dit-il, d'où ces êtres ont pu le tirer. Le fer contenu dans ces Oscillaires s'accumule peu à peu dans les cavités où ces eaux sont contenues, ainsi que dans les dépôts pierreux qu'elles forment, de manière à ce que sa présence soit facilement constatée par l'analyse chimique. » On voit ainsi l'influence des petits corps organisés sur la formation de certains minéraux. (*Comptes rendus de l'Acad. des sciences*, t. XII, p. 384.)

Il est bien remarquable que l'oxyde de fer, presque toujours hydraté, se trouve généralement au point de contact de deux couches de terrains sédimentaires, et bien plus souvent au point de jonction d'une roche éruptive à travers un terrain de sédiment. Il est bien rare qu'une dislocation quelconque d'un terrain n'ait pas amené du fer oxydé hydraté ou du fer carbonaté ou des carbonates.

Les minerais de fer des Pyrénées, toujours accompagnés de calcaires, toujours placés au point de contact des calcaires et des roches primitives, font supposer que l'émission de

granites qui a déterminé l'arrivée de sources aujourd'hui existantes, peut aussi à des époques plus anciennes avoir été la cause de l'éruption d'abondantes sources calcarifères et ferrugineuses. La mine de Rancié a son minerai disséminé dans le lias.

L'étude de tous ces gîtes des Pyrénées orientales par Dufrenoy, l'a conduit à la conclusion que ces minerais, consistant en hématite brune et en fer spathique, sont indépendants des terrains qui les renferment; ils existent à la jonction de ces terrains et des roches granitoïdes, ou très-près de la ligne de contact. Ce savant les regarde comme postérieurs au terrain de craie et antérieurs au terrain tertiaire et les rattache au soulèvement de la chaîne; ainsi ce serait ce soulèvement qui, en brisant le terrain, aurait permis l'émission des sources ferrugineuses.

Les divers minerais de fer du Hartz paraissent avoir été amenés par l'apparition de la masse granitique relativement moderne qui occupe le centre du groupe et constitue le sommet du Broken.

De même en Californie, selon M. Laur, le fer existe en amas puissants de fer oxydulé magnétique, en relation avec les roches balsatiques éparses dans la contrée. C'est ainsi qu'on le rencontre à Volcano, comté d'Amador, et à Iron-Mountain, comté de Nevada.

Du Fer sulfuré.

Le fer sulfuré et surtout la pyrite blanche, appartient aussi aux eaux minérales. On la rencontre abondante dans certaines argiles. Nous en avons vu des échantillons retirés des fouilles faites à Chaudesaigues autour des sources miné-

rales. Des masses de cette pyrite existent dans les terrains de craie blanche. Le bassin tertiaire de Menat en Auvergne en contient dans ses lignites des boules rayonnées, très-facilement altérables à l'air. Quelques-unes d'entr'elles reflètent à leur surface les couleurs de l'iris, comme si elles avaient été chauffées, tandis que les empreintes de poissons qu'elles renferment assez fréquemment accusent leur origine neptunienne.

Nous avons vu extraire de la source Mandon, à St-Nectaire, une magnifique géode de fer sulfuré noir, toute tapissée d'arragonite. Nous avons dans notre collection, une des extrémités de cette géode allongée. La partie principale existe dans la galerie du Muséum d'histoire naturelle de Paris.

Le sulfure de fer et l'hydroxyde sont donc toujours en voie de formation depuis les époques géologiques les plus anciennes jusqu'à l'époque actuelle. Le fer sulfuré se forme encore abondamment dans les eaux minérales, à Chaudesaigues, à Bourbon-Lancy, à St-Nectaire. Nous avons vu retirer des fouilles, dans cette dernière localité, de nombreux cailloux de quartz provenant du sol alluvial, à travers lequel les eaux s'échappent, et ces cailloux étaient tous recouverts d'une couche mince de fer sulfuré. La plupart étaient noirs; quelques-uns avaient des reflets métalliques. Le fer pyriteux paraissait s'y être déposé à la manière de l'or et de l'argent dans les appareils de galvanoplastie.

Les deux sulfures de fer ont été trouvés plusieurs fois dans des lignites dont ils sont contemporains, et il est impossible de distinguer ces pyrites de celles des filons.

La houille qui se trouve dans le calcaire jurassique du Larzac est accompagnée d'un schiste dans lequel on re-

marque du gypse fibreux, assez rare, et d'abondantes pyrites blanches qui se décomposent facilement à l'air humide. Le gisement de ce fer sulfuré fait présumer que sa formation a été déterminée par une cause organique plutôt que par des eaux minérales, mais la présence de la houille et des schistes dans une formation calcaire, provenant évidemment de sources minérales, doit aussi nous faire supposer que ce sont ces eaux qui ont mis le fer et le soufre à la disposition des végétaux. On sait, du reste, que toutes les houilles contiennent des quantités variables de pyrites à la formation desquelles la végétation ne peut être étrangère.

M. Gabriel de Mortillet attribue la sulfuration des sources de la Savoie à la décomposition du sulfure de fer et à sa transformation en peroxyde de fer hydraté. Il indique la connexion des principales sources avec ces gîtes de fer hydroxydé qu'il considère comme des épigénies du sulfure. Bien que la sulfuration des eaux n'ait pas un caractère bien prononcé de constance, il est difficile d'admettre un contact régulier des eaux avec le fer sulfuré et une décomposition permanente de l'eau et du sulfure. Nous pencherions plutôt vers l'hypothèse d'anciennes eaux sulfureuses qui auraient abandonné la pyrite, et dont les eaux actuelles seraient les restes affaiblis. Les sulfures autrefois déposés par ces eaux auraient trouvé dans le contact ou dans la cémentation de l'air atmosphérique la possibilité de se transformer en oxyde.

Nous ignorons sous quel état se trouve le fer en dessous des terrains primitifs. Il peut être à l'état métallique, et dans ce cas il pourrait brûler et se transformer en oxyde avec dégagement d'une chaleur intense.

M. de Fonvielle rapporte dans la *Presse scientifique de*

deux Mondes (1864, t. 1, p. 76) un fait très-curieux qui nous permet de juger de l'intensité des réactions chimiques quand elles sont favorisées par une haute pression. C'est la combustion d'une fontaine de compression en fer forgé et très-épaisse dans le laboratoire du *Royal Institution*. « Il faut ajouter, dit M. de Fonvielle, pour que l'on comprenne la possibilité de cette combustion si étrange, que ce vase de fer était chargé de gaz oxygène à la pression de 25 atmosphères ; 25 fois plus dense qu'à la pression ordinaire, l'oxygène a eu des affinités 25 fois plus vives. Il a suffi d'une température peut-être 25 fois plus basse que celle de l'amadou enflammé dans l'expérience classique de la combustion du fer. » Combien de fois, sous l'énorme pression de la croûte terrestre, des réactions de cette nature ont dû s'opérer, soit par l'action directe de l'oxygène sur des métaux peu oxydables comme l'étain, soit par l'affinité du soufre pour la plupart des éléments !

Ce sont généralement des carbonates qui sont amenés par les eaux minérales, et tout nous porte à croire que ces minerais carbonatés sont d'origine neptunienne, car des carbonates de fer chauffés pendant le grand incendie de Commentry se sont transformés en oxyde et ont perdu leur acide carbonique dans le sein même de la terre, ce qui doit nous faire supposer que partout où nous trouvons des carbonates, il n'y a pas eu de chaleur intense, et à plus forte raison, de chaleur de fusion.

DES AUTRES COMBINAISONS DU FER.

Les espèces qui ont pour base les oxydes de fer sont extrêmement nombreuses et peuvent pour la plupart être considérées comme ayant une origine thermo-minérale.

Un phosphate de fer, tendre, léger, de couleur d'ocre, a été découvert par M. Clément Mullet, à Fouchères (Aube.) Il se trouve abondamment dans une formation calcaire en rognons arrondis ou mamelonnés à la surface, mais non concrétionnés, à cassure conchoïde, unie et matte. Berthier qui l'a analysé y a trouvé, outre le phosphate de fer, du carbonate de chaux, de l'eau et un peu de silice gélatineuse.

« La nature des substances qui sont mélangées intimement à ce phosphate de fer, dit ce chimiste, porterait à croire qu'il doit sa formation à des eaux minérales, mais on n'en connaît pas dans la contrée, et son gisement ne paraît pas s'accorder avec cette supposition. » (*Annales des mines*, 3e série, t. IX.)

Il n'est pas douteux pour nous, que ces rognons de phosphate ne soient le produit de la source qui a déposé le calcaire. On sait avec quelle facilité a lieu dans les magma calcaires le départ du fer, de la silice et l'agglomération en sphéroïdes plus ou moins parfaits, plus ou moins réguliers de toutes les substances étrangères au calcaire.

Le phosphate de fer a été trouvé en New-Jersey par M. Thomson, dans des terrains où il remplaçait des Bélemnites et des coquilles bivalves. (*Ann. de New-York*, 1828.)

Les fers phosphatés blancs, bleus, verts ou bruns assez mal caractérisés, à l'exception des phosphates verts de la Bouiche dont l'origine ignée n'est pas douteuse, offrent certainement des gîtes qui doivent naissance à des eaux minérales ; il en est de même des fers arséniatés, mais l'étude des gisements de toutes ces espèces de fers combinés, qui ont reçu des minéralogistes des noms particuliers, n'a pas été

faite au point de vue dont nous nous occupons et laisse encore beaucoup à désirer.

Les silicates de fer appartiennent sans doute aussi à des eaux minérales. Nous pouvons au moins citer la glaucolite que l'on rencontre en grains verts dans le calcaire grossier du bassin de Paris.

Un des faits les plus curieux que présentent les réactions des trapps et des basaltes sur les roches argileuses au milieu desquelles ils s'épanchent, c'est la coloration en vert ou même l'introduction d'une terre verte. Cette coloration due à du fer et surtout à un hydro-silicate de ce métal est d'autant plus remarquable que le fer tend à rougir en se peroxydant au contact d'un corps fortement échauffé. Il arrive même que des argiles rouges verdissent au contact de filons éruptifs. Il faut donc encore attribuer à l'eau thermale la réaction qui s'exerce soit au contact, soit à une certaine distance. Les pepérites basaltiques sont souvent elles-mêmes accompagnées de cette espèce de terre verte.

L'association du fer molybdaté aux cristaux de quartz de la région aurifère de la Californie pourrait faire supposer l'origine aqueuse de ce produit.

Cette origine n'est pas douteuse pour le fer boraté que M. Becchi a recueilli sur les roches qui bordent les lagonis de la Toscane.

Au reste, comme le fer se trouve partout, ses oxydes sont toujours là pour accepter la plupart des corps qui peuvent se combiner avec eux ; de là cette multitude d'espèces de sulfates, sous-sulfates, sulfates hydratés, oxalates, etc., dont la série à découvrir est loin d'être terminée.

CHAPITRE XXI.

Du Cobalt. — Du Nickel. — Du Zinc. — Du Cadmium. — Du Chrôme. — Du Molybdène. — Du Tungstène. — Du Vanadium.

DU COBALT ET DU NICKEL.

M. Béchamp a signalé le cobalt et le nickel dans l'eau du Boulou.

Les nombreuses espèces ou variétés de cobalt et de nickel que l'on trouve dans les filons, n'ont pas été sufisamment étudiées dans leurs gisements, pour que nous puissions reconnaître leur origine. Cependant les formes concrétionnées de plusieurs d'entre elles, leur association à la galène, à l'arsenic doivent nous faire supposer que des eaux métallifères ne sont pas étrangères à leur formation.

Les filons cobaltifères de la forêt Noire, si riches en minéraux, forment d'après M. de Marignac qui les a décrits, deux groupes bien distincts tant par la nature des minéraux qu'ils renferment que par celle des terrains dans lesquels ils sont compris. La position de ces deux ordres de filons indique encore pour nous des actions thermo-minérales.

Les premiers existent dans le gneiss, et ont pour guangue de la chaux carbonatée et du quartz mêlés de très-peu de baryte blanche et de chaux fluatée. Ils renferment des minerais de cuivre et de plomb souvent argentifères. Ils représentent la cheminée d'eaux minérales qui ont traversé le gneiss.

Les seconds ne se trouvent pas dans le gneiss ; ils traversent le terrain de grès bigarré et le granite à feldspath rouge qui a soulevé le grès bigarré et qui est par conséquent postérieur à la formation de ce terrain. Pour nous la situation de ces filons indique des courants d'eaux ou de vapeurs métallifères amenées au contact des grès par les éruptions granitiques.

« La guangue de ces filons, dit M. de Marignac, est la baryte sulfatée de couleur de chair. On y trouve aussi de la chaux carbonatée magnésifère et de la chaux carbonatée ferrifère, mais en petite quantité. Les minéraux métalliques contenus dans ces filons sont principalement, le cobalt arsenical compacte ou cristallisé, l'argent natif sulfuré ou antimonial, le cuivre gris, le bismuth natif ou sulfuré, l'arsenic natif et l'arsenic sulfuré, le nickel arsenical, l'urane oxydé. »

DU ZINC ET DU CADMIUM.

Ces éléments n'ont pas encore été signalés dans les eaux minérales actuelles, mais on ne peut douter de leur présence dans les eaux qui ont donné naissance aux calamines.

Le zinc silicaté et le zinc oxydé, tous ces minerais et toutes ces espèces, autrefois désignés sous le nom de *calamine*, offrent eux-mêmes la preuve de leur origine aqueuse par leur association à des argiles, à des minerais de fer, à des lignites et à des calcaires. La galène et la dolomie indiquent encore la même origine, et font supposer que les sources qui ont formé les minerais de zinc dans les terrains anciens, ont conservé longtemps leurs propriétés et leurs principes ; c'est encore à ce mode de formation qu'il faut attribuer le sulfure de zinc. Son apparition date de l'érup-

tion des granites modernes à travers les terrains de sédiments déjà formés. Ces zones de contact sont partout signalées par des eaux métallifères dans lesquelles le zinc a joué un des rôles principaux.

Les sources chargées de zinc se sont montrées à plusieurs époques, et quand on étudie le gisement des calamines on est bientôt convaincu de leur origine.

Dans les environs d'Aix-la-Chapelle, ce minerai de zinc occupe les sommets de plusieurs collines, et repose ordinairement sur du calcaire siliceux. La calamine est déposée en petits rognons dans une argile jaune; elle est mélangée de plomb et de fer. L'hydrate de fer colore toutes ces argiles, et parfois même se trouve presque pur, comme nous voyons en Auvergne cet hydrate accompagner les meulières produites par les eaux minérales sur le sommet des collines des environs de Billom et de Vic-le-Comte.

Ces calamines et notamment celles de Stolberg constituent une foule de petits dépôts nettement circonscrits comme nos dépôts de meulières, mais alignés comme le sont presque toujours les sources minérales. Ces amas sont postérieurs au terrain secondaire sur lequel ils s'appuient, et il en est qui sont d'une formation relativement très-récente.

S'il restait des doutes sur l'origine de ces calamines, ils disparaîtraient par l'étude des minerais du Limbourg. On y voit des variétés concrétionnées dans des géodes d'argile et des mamelons composés de couches testacées qui accusent nettement l'origine que nous avons assignée à la calamine.

La liaison du fer et du zinc dans toute la Belgique et dans les provinces rhénanes, est si constante, que tantôt le minerai est exploité pour en retirer ce dernier métal, et tantôt pour l'extraction du fer. Ce sont tous des restes des mine-

rais superficiels reposant sur des schistes ou des calcaires anciens, mais présentant tous les caractères de dépôts récents.

Les mines de Tarnowitz en Silésie offrent aussi des minerais de zinc qui sont tout à fait dans les mêmes conditions que ceux des provinces rhénanes. La calamine y est aussi associée à la galène.

M. Delanoue est arrivé aux mêmes conclusions pour la formation des minerais calaminaires et de certains minerais de plomb et de fer. « Tous les minerais calaminaires sont, selon lui, des dépôts de sources thermales, et les diverses proportions d'eau de combinaison des minerais de zinc de ces gîtes, représentent les différents degrés de chaleur de ces sources.

» Les sulfures de plomb, de zinc, etc., s'y sont, en général, formés les premiers. Ils résultent probablement de la réaction par voie humide des matières organiques sur les sulfates. »

« Les carbonates de plomb, de zinc, etc., se sont déposés généralement au-dessus des sulfures, et par la réaction des sources métallifères sur un calcaire quelconque. »

« Il en résulte que l'on ne doit pas trouver de vrai gîte calaminaire sans calcaire, et que ce genre de roche servira désormais de boussole dans les recherches de calamine. »

« Les calcaires ne précipitant facilement les sels ferreux et manganeux qu'au contact de l'air, les minerais de fer et de manganèse hydraté ont dû former des dépôts superficiels par-dessus les calamines. » (*Institut.*, 1850, n° 859, page 193.)

« La substance organique que contient le zinc carbonaté, dit M. Delanoue, et la matière charbonneuse qui colore certaines calamines, représentent parfaitement, l'une

la partie soluble, l'autre la partie insoluble de la matière organique des calcaires corrodés par les eaux minérales. »

M. Delanoue trouve dans la simple réaction du calcaire ou de la dolomie sur d'anciennes sources métallifères (sans avoir besoin de recourir aux théories métamorphiques), la solution toute chimique de la formation des minerais calaminaires. (*Ann. des Mines*, 4e série, t. 18, p. 471.)

Les mines de Pallières, près d'Anduze, assez riches en zinc, en plomb, en argent et en pyrites de fer, sont situées au contact du granite et des terrains secondaires. La dolomie du lias et les calcaires dans lesquels elles se trouvent, l'altération des roches que nous avons pu étudier sur plusieurs points, nous montrent partout l'action de l'eau thermale, autrefois métallifère.

Dans les pics d'Europe appartenant à la chaîne Cantabrique, les calamines sont colorées par du cinabre, et à la mine de San-Carlos, le cinabre se montre en couches de deux centimètres dans la calamine. Si nous accordons, comme on n'en peut douter, une origine aqueuse à la calamine, il faudra bien admettre aussi la même origine pour le cinabre.

Des bois de cerf et des dents d'éléphants, complétement imprégnés de calamine, trouvés à la mine de San-Bartolomeo, indiquent bien que le zinc était dans un état de dissolution complet. La présence du calcaire et de la dolomie accompagnant la calamine dans les Asturies, indiquent aussi une formation aqueuse.

« MM. Bignan et Caillaux remarquent d'ailleurs, disent MM. Delesse et Laugel, que tous ces gîtes calaminaires si variés qui sont échelonnés depuis les sommités neigeuses des pics de l'Europe, jusqu'aux rivages de la mer Cantabrique,

paraissent reliés entre eux par des sources thermales encore existantes, lesquelles représentent sans doute les derniers vestiges d'un phénomène ancien et plus énergique, auquel il faut attribuer la formation calaminaire. » (*Revue de géologie pour* 1861, p. 104.)

Une des observations les plus intéressantes, relative à l'origine thermo-minérale du zinc, est celle que rapporte M. Terreil : « On a découvert dans une mine de calamine en exploitation, située à Udias, dans la province de Santader (Espagne), deux cavités formant géodes, dont l'une était remplie d'une bouillie assez claire d'un composé de zinc, et dont l'autre contenait plusieurs litres d'un minerai de zinc sous forme oolithique. Les grains les plus petits de ce minerai sont de la grosseur d'un pois; les plus gros dépassent le volume d'un œuf de poule. »

M. Terreil n'a pu se procurer la bouillie de la première géode et constater et par conséquent connaître la nature du liquide qui tenait en suspension le carbonate ou le silicate de zinc, peut-être tous deux ensemble ; mais voici ce qu'il rapporte des oolithes :

« Chaque grain de ce minerai est formé de couches concentriques qui se séparent quelquefois d'une manière parfaite en feuillets minces lorsque l'on veut casser le minerai. Les premières couches extérieures sont opaques et d'un blanc de lait; les couches intérieures sont vitreuses et même transparentes, ce qui fait que ces grains oolithiques ressemblent au cristallin des yeux de poisson. »

« Un des faits les plus remarquables, c'est que, trouvés en masse dans une même géode, tous ces grains oolithiques n'ont pas la même composition; les uns sont formés d'un carbonate de zinc basique, hydraté, presque pur, et les

autres de silicate hydraté du même métal. La densité du carbonate est de 2,042, celle du silicate de 2,762. Tous deux contiennent des traces d'une matière organique azotée. (*Comptes rendus de l'Acad. des sciences*, t. 49, p. 553.)

M. Bernoulli a reconnu la présence du zinc dans la houille d'Eschweiler.

M. Leschevin, ancien commissaire des poudres et salpêtres à Dijon, a trouvé dans la démolition de hauts fourneaux des quantités notables de plomb et de zinc. On traitait dans ces fourneaux les minerais granulaires de la Bourgogne; et comme on ne peut douter que ces minerais ne soient dus à d'anciennes sources minérales, il en résulte que le plomb et le zinc existaient aussi dans ces eaux, mais en quantité si petite, que ces métaux ont échappé à l'analyse de Vauquelin dans son grand travail sur les fers limoneux et granulaires de la Bourgogne et de la Franche-Comté.

Nous ne pouvons guère douter que le cadmium, si souvent associé au zinc, n'ait aussi été amené par voie aqueuse dans les gîtes où il se trouve. Aussi la blende cadmifère de Nuissière, qui a été analysée par M. Damour, se trouve en veines dans une guangue quartzeuse et associée à de la baryte et à du cuivre pyriteux.

DU CHRÔME.

Quoique le chrôme n'ait pas été trouvé dans les eaux minérales actuelles, nous pouvons supposer qu'il a pu arriver par voie hydro-thermale dans les filons, ou souvent à l'état d'acide chromique il s'est uni à l'oxyde de plomb ou à l'oxyde de fer.

Si nous acceptons l'origine aqueuse de l'émeraude, nous

serons forcé d'admettre la même source pour l'oxyde de chrôme qui colore, quelquefois seulement, ce brillant minéral.

Le chrôme oxydé est souvent associé au quartz, et pourrait par conséquent aussi être considéré comme un produit acompagnant des eaux siliceuses. Mais on connaît encore un oxyde de chrôme silicifère ou peut-être un silicate de chrôme qui est certainement thermo-neptunien : c'est la wolckonskite, qui renferme jusqu'à 23 p. % d'eau et dont le gisement (dans le duché de Perm, en Russie) se trouve dans une roche terreuse magnésienne, dont la composition se rapproche de celle de l'écume de mer. L'oxyde de chrôme colore aussi en vert d'eau, une argile de Sibérie que l'on a désignée sous le nom de *miloschine*.

DU MOLYBDÈNE ET DU TUNGSTÈNE.

Ces métaux, sulfurés ou oxydés, accompagnent assez souvent les minerais d'étain et sont considérés comme des éléments très-anciennement introduits des profondeurs dans l'écorce de la terre. Nous ne pouvons que renvoyer à ce que nous allons dire des minerais d'étain.

DU VANADIUM.

Cet élément, qui n'existe dans la nature qu'en petite quantité, est pourtant assez répandu, même dans les terrains de sédiment. Il fait partie d'un grand nombre de minéraux formés par les eaux ; plusieurs grès cuprifères de Russie en contiennent. M. Ficinus indique le vanadate de chaux sur un échantillon de blende. M. Schultz a trouvé

du vanadium dans des minerais de fer différents de Temnitz dans la Haute-Silésie. M. Bodenman a signalé à la fois du chrôme et du vanadium dans une couche d'hydrate de fer, près de Steinlade, sur le versant nord-ouest du Hartz. (*Rapport de Berzelius*, 4e année, p. 66.)

Le vanadium existe aussi sous forme de vanadiate de cuivre sur le flanc de l'Oural où il a été découvert par le lieutenant Choubine. La situation de ce minerai et d'autres espèces ayant le cuivre pour base dans la formation du keuper, dont l'étage inférieur consiste en gypse, en marne et en grès argileux, peut faire supposer aussi une origine aqueuse.

M. Phipson a indiqué l'acide vanadique dans la proportion de deux pour cent dans un dépôt qu'il appelle *vanadium ochre*, espèce de limonite pourpre que l'on ne peut attribuer qu'à des eaux minérales.

M. Sefstrom a trouvé du vanadium dans des minerais de fer suédois, et M. Henri Sainte-Claire-Deville en a rencontré aussi dans des minerais de fer très-riches en alumine recueillis dans la commune des Baux, entre Arles et Toulon. Or, on ne peut douter que ce minerai, ou cette gybsite comme l'appelait Dufrenoy, n'ait une origine de dépôt sédimentaire. (*Comptes rendus de l'Académie des sciences*, t. 49, p. 210.)

M. Beauvallet a constaté aussi la présence du vanadium dans l'argile de Gentilly. (*Id.*, p. 301.)

Le vanadium a été cité ainsi que le chrôme dans des laitiers du haut-fourneau de Frédéric-Auguste, près de Dresde, par M. Kersten. (*Ann. de Poggendorf*, t. LVII, p. 121.) Ce fait indiquerait la présence de ces deux métaux dans des minerais de fer probablement d'origine hydro-minérale.

CHAPITRE XXII.

De l'Antimoine. — De l'Étain. — Du Titane. — Du Cuivre. — Du Plomb. — Du Bismuth. — Du Mercure.

—

DE L'ANTIMOINE.

L'antimoine est un des métaux qui dans ses gisements, offre le plus évideroment les caractères d'une origine thermo-minérale. S'il se trouve en filons dans les gneiss, c'est toujours associé au quartz, et l'on voit même l'antimoine sulfuré porter des cristaux de quartz hyalin sur ses aiguilles.

En Afrique, M. Coquand a vu l'antimoine sulfuré grenu alterner par bandes assez régulières avec le quartz laiteux qui lui sert de guangue ; mais l'antimoine sulfuré existe aussi dans le terrain crétacé et doit être ou contemporain ou postérieur à ce terrain. Cette dernière opinion est la plus probable.

M. Coquand a aussi décrit un gîte de cette nature à Pereta, en Toscane. La guangue du minerai est une masse de quartz calcédonieux qui pousse des ramifications au milieu des couches crayeuses. Les limites de la roche et du filon deviennent incertaines, dit M. Coquand ; on ne distingue d'inclinaison dans aucun sens, particularité qui, jointe aux ramifications injectées dans le terrain encaissant ont déterminé M. Coquand à assimiler le filon à un véritable dyke éruptif. Nous pensons que sa guangue, parsemée de cavités irrégulières, tapissée de quartz hyalin dont les pointements

seuls font saillie dans les géodes, indiquerait plutôt le trajet d'une ancienne source minérale.

L'antimoine sulfuré occupe dans la masse quartzeuze des poches plus ou moins considérables qui sont généralement isolées et indépendantes les unes des autres. Rien n'est plus variable que le volume de ces cavités ; il en existe de tellement circonscrites qu'elles ne méritent pas la peine d'être vidées ; d'autres sont tellement grandes qu'on en a extrait jusqu'à 30 et 40,000 kilogrammes de minerai. En 1843 on découvrit un globe à grandes baguettes divergentes dont le diamètre n'était pas moindre de trois mètres.

Le passage suivant extrait de la Minéralogie de Dufrenoy vient appuyer notre manière de voir sur la formation de l'antimoine.

« Aux mines de Sausa et d'Hamimate, en Algérie, le minerai est un mélange d'antimoine sulfuré et d'antimoine oxydé. Ce dernier est en amas intercalés dans les marnes noires, bitumineuses, dépendant du terrain de craie. L'antimoine sulfuré y forme des mouches, des rognons et de petites veines disséminées, tantôt dans ces marnes, tantôt dans le calcaire compacte qui y est associé. On trouve dans le même gisement du mercure sulfuré et du soufre ; ces amas, inégalement répartis dans les argiles bitumineuses et dans le calcaire, semblent occuper des fentes et des cavités ouvertes dans ces roches par des phénomènes d'expansion analogue à ce que l'on observe dans les solfatares. Le remplissage paraît dû au même phénomène qui donne naissance aux amas de soufre qui existent dans les terrains crétacés, et le gisement du soufre de Sicile est, à tous les égards, du même ordre que celui de l'antimoine des environs de Constantine. » (Dufrenoy, *Minéralogie*, t. III, p. 169.)

L'antimoine sulfuré et oxydé existe aussi en Californie, en filons épais en relation avec les éruptions de roches volcaniques anciennes. M. Laur cite ces filons près du Mont de l'Ours et dans la vallée de l'Aigle.

Le sulfure d'antimoine uni au sulfure de plomb et à quelques autres métaux constitue les minéraux désignés sous les noms de *zinkenite*, *plagionite*, *jamesonite*, et uni au sulfure de fer il constitue la *berthierite* ou *haidingerite*. L'origine de ces combinaisons doit être la même que celle de l'antimoine sulfuré.

Quant à l'antimoine oxydé blanc, il accompagne le sulfure, surtout en Algérie, dans les terrains crétacés à la mine de Sausa, près de laquelle existent les sources de Dain-el-bel-Brouch, dans la province de Constantine.

Les deux formes sous lesquelles se présente ce minerai d'antimoine semblent l'une et l'autre, dit Dufrenoy, « le résultat de produits gazeux qui, en traversant le terrain crétacé, auraient déposé dans des crevasses préexistantes, tantôt de l'antimoine sulfuré, tantôt de l'oxyde d'antimoine cristallisé, compacte ou fibreux. »

L'antimoine se trouve comme la galène dans les micaschistes redressés par la sortie de la grande masse granitique de la Lozère, dans ces micaschistes si riches en lentilles et en veines de quartz. Ce terrain est la continuation de celui de Vialas et se prolonge dans l'Ardèche jusqu'auprès de Bordezoc. Les filons de Malbosc qui renferment le sulfure d'antimoine sont formés principalement de quartz et contiennent quelquefois de la chaux carbonatée et plus rarement de la baryte sulfatée. Le minerai dont la puissance varie gît dans l'argile qui forme les salebandes. Le dépôt d'antimoine est très-irrégulier.

Dans le voisinage des filons d'antimoine on voit de nombreux affleurements de couches d'hématites rouge et brune et de puissants filons de cette dernière. L'aspect de ces gîtes indique plutôt des dépôts de sources thermales que des injections.

Un exemple contemporain de la production de l'antimoine nous est fourni par l'eau minérale de Rippoldsau au Hartz. Cette eau contient d'après M. Will, des oxydes d'antimoine, de zinc, d'arsenic, de cuivre et de plomb; composition bien remarquable et en rapport avec les mines de Hartz, dont elles sont voisines. Le dépôt ocreux d'une de ces sources, la source Joseph, contient 60 pour cent d'oxyde de fer et 1,134 pour cent des autres métaux cités.

DE L'ÉTAIN.

L'étain est considéré comme un des métaux les plus anciens. On ne connaît guère que son oxyde, lequel entre difficilement dans de nouvelles combinaisons. On le rencontre dans les granites primitifs avec le tellure, le tungstène, le molybdène, le platine, l'or, le cuivre, le cobalt, le nickel et aussi le fer qui vient se joindre à ces minéraux. De nombreux silicates s'associent à ces métaux ; tels sont la tourmaline, l'yénite, l'amphibole, l'émeraude, la stéatite, etc. Le bore et le fluor, toujours combinés à d'autres corps, existent dans les gîtes d'étain. On considère généralement ces divers minéraux comme plutoniques. Il nous semble difficile pourtant d'accepter cette origine pour l'étain de bois. On sait que ce minéral se présente en rognons dont les fibres divergent du centre à la circonférence et dont les masses sont formées de zones concentriques. La présence au centre

de quelques-unes de ces masses de cristaux de quartz qui leur servent de noyaux (échantillons du Museum d'histoire naturelle) s'explique difficilement par une origine plutonique.

M. Daubrée, dans un remarquable Mémoire sur la production artificielle de l'oxyde d'étain, de l'oxyde de titane et du quartz, n'hésite pas, après de curieuses expériences, à considérer les minéraux des filons de l'Oisans comme des produits hydro-thermaux.

» Les principales circonstances de leur gisement, dit-il, se trouvent expliquées, si l'on admet que des vapeurs de fluorure d'étain, de fluorure de titane, de fluorure de silicium, de fluorure de bore, de fluorure de phosphore arrivant des profondeurs, ont subi, à une température élevée, des décompositions sous l'influence de la vapeur d'eau et des roches encaissantes; de cette élaboration dont les fluorures auraient formé comme le germe, seraient résultés probablement les amas stannifères. » (*Ann. des Mines*, 4e série, t. 16, p. 131.)

Les premières eaux minérales, aux anciennes époques géologiques, n'étaient pas autre chose que ces dégagements de corps divers unis à la vapeur d'eau, et c'est à l'action et à la réaction de ces agents qu'il faut rapporter la majeure partie des dépôts métalliques en filons ou en amas dans les roches primitives. C'est à ces causes que M. Daubrée attribue les filons titanifères du St-Gottard, les petits filons de l'Oisans avec axinite, albite, épidote, etc. La présence dans ces filons de silicates hydratés cristallisés, tels que la chlorite et diverses espèces de zéolithes, sont pour lui comme pour nous des preuves que l'eau est effectivement intervenue dans le remplissage des filons titanifères.

Telle serait donc la composition de ces anciennes eaux

minérales dont les émissions du granite ou du porphyre quartzifère auraient facilité la sortie.

On trouve même, comme dans l'amas stannifère du Geyer en Saxe, une espèce de brèche composée de fragments anguleux de gneiss qui indiquent dans le terrain traversé par l'éruption granitique, une perturbation analogue à celle qu'ont provoquée les basaltes, en s'entourant de brèches et de pépérites. Le quartz cristallisé que nous considérons comme étant formé par l'eau est la guangue ordinaire de l'oxyde d'étain. M. Daubrée cite dans l'amas de Zinnwald des cristaux de quartz brisés, dont les fragments un peu dérangés de leur position ont été ressoudés par du quartz; des fragments de tourmaline qui sont ressoudés entr'eux par du quartz, par du schéelin ou par du spath fluor; enfin, du quartz corné sons la forme cristalline du mica ou du fer spathique.

Il est bien difficile d'admettre que ces minéraux soudeurs aient subi la liquéfaction ignée sans entraîner la fusion des fragments qu'ils ont réunis. Il est difficile aussi d'expliquer comment l'argile lithomarge se serait introduite dans les veines métallifères par voie de fusion.

Dans les porphyres, M. Daubrée fait observer que la richesse en étain est à peu près proportionnelle à l'abondance du quartz. La tourmaline est aussi un des minéraux les plus répandus dans ces mines.

La roche à topaze de Schneckenstein est considérée avec raison par M. Daubrée comme un minerai d'étain, bien que ce métal n'y soit pas abondant. Elle est presque entièrement composée de quartz et de topaze. « Il y existe des fentes ou des cavités sur les parois desquelles le quartz et la topaze se trouvent en cristaux de dimensions variables; ces

géodes renferment aussi le plus souvent un enduit ou un petit amas d'argile lithomarge. »

De fortes présomptions en faveur d'une solution aqueuse d'étain résultent aussi de la découverte de pseudomorphoses dans les mines de Cornouailles. De l'oxyde d'étain mêlé de quartz a remplacé des cristaux de feldspath. L'oxyde d'étain y varie dans la proportion de 10 à 75 pour cent. Beaucoup de ces cristaux ont été brisés et les morceaux ont été cimentés par de petits cristaux d'oxyde d'étain. M. Daubrée cite encore, d'après de la Bèche, la substitution de la tourmaline au feldspath, phénomène bien difficile à expliquer par une fusion ignée.

L'oxyde d'étain a été cité par Berzelius, dans les eaux de Saidschutz, en Bohême, avec l'oxyde de cuivre.

« J'en ai trouvé des traces, écrivait-il en 1839 à M. Chevreuil. » Il est vrai qu'il attribue la présence de ces oxydes à la décomposition de l'olivine qui, d'après ses analyses, contient des traces de ces métaux, et il ajoute que la grande quantité de magnésie contenue dans ces eaux doit également provenir de la décomposition de l'olivine. Nous avons fait remarquer trop souvent la dissidence qui existe entre nos idées sur l'origine des eaux minérales et celles tout opposées des chimistes, pour que nous ayons besoin d'y revenir.

DU TITANE.

Il existe certains minéraux dont l'origine est toujours problématique. Ainsi le titane qui passe avec raison pour appartenir, comme l'étain, aux terrains les plus anciens, se trouve aussi à l'état de rutile aciculaire dans des cristaux de quartz que nous ne sommes pas éloigné de considérer

comme formés par voie humide. L'association de l'octaédrite ou anatase avec le quartz, l'albite et les minéraux de l'Oisans nous laisse aussi des doutes sur leur formation. La dissémination de la warwickite ou titanate de magnésie dans une dolomie blanche prouverait plus encore que le titane, comme la plupart des métaux (tous peut-être), a pu être amené du sein de la terre par des sources métallifères.

M. Rogers dit que l'on a trouvé en Angleterre du titane natif en cubes, d'un rouge de cuivre, dans une mine abandonnée à Merthyr-Tydwill. Ces cubes évidemment formés par voie humide seraient semblables à ceux qu'on a trouvés déjà dans les scories des hauts fourneaux de la même localité. (*Institut.*, n° 529, p. 60.)

L'acide titanique entre quelquefois dans la composition des argiles, et celle de Dowlais en contient, en certains cas, plus de 2 pour 0/0. (Delesse et Laugel, *Revue de géologie*, de 1861, p. 89.)

M. Phipson cite aussi dans certaines argiles de l'acide titanique et de l'acide tantalique.

Mais le fait le plus remarquable en faveur de la production du titane par les eaux, c'est la présence de l'acide titanique dans l'eau de Widbad-Gastein. M. Ullik qui a annoncé ce fait à l'académie de Vienne, a trouvé aussi dans cette eau de la lithine, du rubidium et une proportion relativement considérable de césium. (*Institut du* 30 *décembre* 1863.)

DU CUIVRE.

Le cuivre a été trouvé dans plusieurs eaux minérales. M. Filhol l'a découvert récemment dans les eaux ferrugineuses de Saint-Christeau, près d'Oloron, dans les Basses-

Pyrénées. Ce savant chimiste cite quatre sources dans lesquelles, indépendamment du fer, il existe du cuivre en quantité suffisante « pour que l'on puisse aisément reconnaître la présence de ce métal, même en n'opérant que sur un décilitre d'eau. »

Dans ces dernières années, MM. Béchamp et Moitessier ont appelé l'attention des chimistes sur la présence du cuivre dans plusieurs eaux minérales, et particulièrement dans celles de Balaruc et de La Malou. Plus récemment encore, M. Béchamp a indiqué le cuivre oxydé dans son analyse des eaux du Boulou. (*Le Montpellier médical*, t. X, n° 4.)

Plusieurs mines de cuivre du Canada oriental se trouvent dans une couche immense de calcaire magnésien, qui est remplie de minerai de cuivre pourpre, gris et jaune. Il est évident que ce minerai est contemporain de ce calcaire, et l'on ne peut douter que ces couches de dolomie ne soient dues à des eaux minérales, puisque nous connaissons des eaux de l'époque actuelle qui contiennent encore des traces de cuivre.

Les mines de cuivre si riches du lac Supérieur se trouvent principalement en filons dans des amygdaloïdes. Le cuivre natif qui existe en abondance et parfois en masses considérables, y est accompagné de prehnite, de chaux carbonatée, de laumonite, de leonhardite, de quartz, de datholithe, de chabasie, de mésotype, d'apophyllite, de feldspath, d'analcime et de wollastonite, minéraux presque tous hydratés. Il serait difficile, comme le fait remarquer M. Jackson, de comprendre la formation de ce cuivre par voie ignée, car le cuivre a pris l'empreinte des cristaux de prehnite qui au contact n'a pas été rendue anhydre, comme

elle l'eût été par le cuivre fondu. D'un autre côté, si le cuivre avait été fondu, son point de fusion étant beaucoup plus élevé que celui de l'argent qu'il contient, ce dernier métal se serait nécessairement allié avec lui, au lieu de se séparer en filets distincts mélangés, mais non alliés au cuivre. Le cuivre et l'argent n'étant pas volatils, il faut nécessairement faire intervenir la vapeur d'eau et attribuer la sortie de ces anciennes sources métallifères à l'éruption des trapps signalés dans toute cette partie du lac Supérieur. (*Ann. des Mines*, 4e série, t. 17, p. 103.)

La position de nombreux filons ou de gîtes métallifères plus ou moins réguliers a été souvent déterminée par des roches éruptives telles que des trapps, des amphibolites ou des basaltes. On trouve dans le pays de Galles des exemples de ces gisements où le plomb et le cuivre sont rapprochés des masses éruptives. C'est à peu près dans les mêmes positions que se trouvent les riches gisements de cuivre natif du lac Supérieur dont nous venons de parler.

M. Rivot a constaté aussi que ces dépôts, d'une grande importance, sont postérieurs à la formation de trapp, de conglomérat et de grès. Ce géologue considère les trapps des bords du lac Supérieur comme ayant ouvert la voie aux eaux et aux vapeurs cuprifères et argentifères, car les filons suivent le plus ordinairement la direction de cette roche éruptive.

Le cuivre présente dans ses combinaisons diverses un nombre infini d'espèces qui ont reçu des noms particuliers, et dont plusieurs ne sont que des raretés disséminées dans les mines plus importantes des pyrites, des carbonates et du cuivre natif.

Les carbonates, souvent hydratés, forment comme à

Chessy des rognons dans le grès bigarré. On y voit des boules, des géodes et d'admirables cristaux qui paraissent bien provenir de solutions aqueuses. Dans la mine de Mansfeld on ne peut douter de l'intervention de l'eau, puisque le cuivre s'est concentré sur les empreintes assez nombreuses de poissons et de plantes disséminées dans le terrain. L'argent en épis ou cuivre sulfuré spiciforme, est une véritable pseudomorphose qui indique une complète dissolution. Ainsi donc, s'il existe des minerais de cuivre plutoniques, on ne peut nier non plus que ce métal se soit trouvé, en plusieurs circonstancees, en dissolution dans l'eau.

M. Delesse indique un grès vosgien près de Saint-Avold, dans le Hochwald, dont les grains de quartz sont en partie cimentés par de la malachite verte radiée, plus ou moins mélangée d'azurite, et tandis que la malachite domine dans le grès, c'est au contraire l'azurite qui domine dans les parties argileuses du grès vosgien. (*Revue de géologie pour* 1861, p. 207.) Le minerai de cuivre de Perm, en Russie, est aussi un grès cuprifère.

M. Daubrée a signalé la formation de la pyrite de cuivre et du cuivre panaché, tout à fait semblable à celui des filons par le contact des eaux de Bagnères-de-Bigorre avec du bronze romain. Il est vrai que le cuivre était fourni par le bronze ; mais il n'est pas moins remarquable que des eaux qui ne sont pas sulfureuses aient pu produire de la pyrite de cuivre « en cristaux très-nets et tout à fait semblables à ceux des filons de Cornouailles. »

M. Daubrée pense qu'en cette circonstance les sulfates que renferment ces eaux, dont la température n'excède pas 50 degrés, ont pu être réduits par une matière végétale et tourbeuse, que renferme l'alluvion, dans le voisinage du

point où se sont produits les sulfures métalliques. (*Bull. de la Soc. géol.*, 2e série, t. 19, p. 529.)

DU PLOMB.

Le plomb est un élément fréquent dans tous les gîtes métallifères, et il nous paraît impossible de voir dans son sulfure ou galène, moins encore dans son carbonate, de ces injections plutoniques qui auraient rempli des fentes dans une roche préexistante. Ce sont des eaux métallifères qui ont produit les gîtes de plomb, bien qu'actuellement nous n'ayons rencontré ce métal dans aucune eau thermale.

Les gîtes de plomb si considérables de l'Alpujarres, en Espagne, décrits par M. Le Play en 1834, constituent « une véritable amygdaloïde à pâte calcaire, à gros noyaux de galène. Les gîtes métallifères y sont si rapprochés l'un de l'autre, qu'il est rare qu'un puits percé au hasard ne rencontre pas le minerai avant la profondeur de 100 mètres. » La présence du gypse et des dolomies ajoute encore à la probabilité d'origine neptunienne de ces dépôts. L'existence, très-fréquente aussi, des plombs carbonatés tendrait également à prouver l'intervention active des eaux thermo-minérales.

La présence des métaux, et surtout du plomb, du zinc et du fer dans les calcaires du lias, en filons, en nids et en amas contemporains, est un fait mis hors de doute par le Mémoire de Dufrenoy sur l'existence du gypse et de divers minerais métallifères dans la partie supérieure du lias du sud-ouest de la France. (*Ann. des Mines*, 2e série, t. 2, p. 344.) On trouve ces métaux dans une partie du lias qui vient s'appuyer au sud sur le plateau primitif de la France

centrale. On trouve aussi la galène dans la dolomie. Il est impossible de ne pas rapporter l'âge de dépôt de ces métaux à celui du calcaire qui les contient, et par conséquent aux eaux minérales qui ont fourni les calcaires et les dolomies du lias.

M. Perl de Freyberg a trouvé sur un morceau de galène l'empreinte partielle d'une feuille de *Neuropteris*. S'il fallait d'autres preuves de l'origine neptunienne de la galène dans cette circonstance, on la trouverait dans le gisement. En effet, c'est dans l'argile schisteuse qui recouvre le toit de la houille de Zwickan que se trouvent des rognons nombreux d'une substance nommée *sphærosidérite argileuse*, lesquels renferment ordinairement de la pyrite et quelquefois de la galène.

Les mines de plomb du Cumberland, offrent encore des minerais certainement neptuniens. La galène s'y trouve dans le calcaire à Encrines ou calcaire carbonifère, lequel se lie dans sa partie supérieure avec le terrain houiller. Ce calcaire métallifère s'étend sur une surface d'environ 1,500 kil. carrés.

Une des preuves les plus frappantes de l'origine neptunienne de ces minerais, c'est que le terrain étant composé de couches superposées de grès et de calcaire, les filons sont en général plus étroits dans la première de ces deux roches. Une puissance de 2 ou 3 décimètres dans le grès se transforme en une épaisseur d'un mètre à 1^{m} 50 dans le calcaire. Cette influence que la nature des parois exerce sur les filons n'est pas la seule; elle détermine aussi, presque toujours leur richesse en minerai de plomb. Il y a encore des différences de richesse selon la nature même des couches calcaires.

Les filons de plomb du Derbyshire offrent un phénomène

analogue. Le terrain qui les contient est encore du calcaire, mais au lieu d'y rencontrer des couches de grès intercalées, c'est une sorte de roche trappéenne que l'on suppose avoir été injectée dans le calcaire; mais quel que soit le mode de formation de cette roche, le minerai diminue considérablement à son contact ou disparaît même tout à fait; phénomène bien difficile à expliquer par des injections plutoniques qui auraient pénétré dans des fentes préexistantes. La guangue du minerai de plomb indique aussi une origine thermo-neptunienne. On y trouve la chaux fluatée et la chaux carbonatée lamelleuse; on y rencontre aussi de la baryte sulfatée qui, dans les cavités, se présente le plus souvent en mamelons hémisphériques blancs, formés du groupement de cristaux tabulaires crétés. Le parallélisme si régulier des bandes admirablement colorées de la chaux fluatée, sa belle cristallisation, sont encore des indications précises de dépôts d'eau minérale.

De Bonnard a cité une formation métallifère très-étendue que l'on est obligé aussi de rapporter à un dépôt neptunien. Cette formation existe dans les départements de la Vienne, des Deux-Sèvres et de la Charente. « Elle se compose principalement de galène argentifère, de blende et de pyrites ferrugineuses et cuivreuses, quelquefois de plomb carbonaté et de calamine, accompagnés de spath pesant ou de spath fluor, de quartz et de calcaire. Elle se présente, soit disséminée en amas et en veinules dans des couches calcaires ou siliceuses, immédiatement superposées dans toute cette contrée au sol granitique, soit en rognons épars dans un terrain argileux qui paraît aussi recouvrir à peu près immédiatement le granite, soit enfin en filons dans le granite lui-même.

» Dans plusieurs endroits, cette roche métallifère est en couches à peu près horizontales, entre lesquelles on observe de petites couches d'un psammite à grains quartzeux et feldspathiques, à pâte quartzeuse ou calcaire qui passe insensiblement à la roche principale. Ces couches renferment des Nautiles, des Ammonites, des Cames. » (*Ann. des Mines*, t. 8, p. 491.)

Les fameuses mines de plomb de Potosi, dans l'Amérique, indiquent encore la même origine. Elles ont été visitées dernièrement par M. le docteur Charles Jackson qui a donné des détails intéressants sur ce gisement. « C'est à juste titre, dit-il, qu'on les appelle *fouilles*, car la galène est répandue en abondance dans une argile d'un rouge jaunâtre, près de la surface du sol, et est extraite avec autant de facilité que les pommes de terre le sont dans un champ par le cultivateur. Le minerai est déposé au milieu des roches, dans des crevasses et des cavernes, mais il n'existe aucun filon suivi dans cette contrée, non plus que dans aucune partie de l'Illinois et du Wiconsin. La galène n'est jamais attachée à la roche, mais à de la baryte sulfatée et est renfermée dans l'argile ferrugineuse. » (*Comptes rendus de l'Académie des sciences*, t. 58, p. 241.)

Un des gîtes de plomb qui présente le plus évidemment le caractère neptunien, est la couche de galène argentifère de Tarnorwitz en Silésie. Ce gîte décrit par M. Manès, ingénieur des mines, forme une couche irrégulière dans un terrain de calcaire secondaire qui paraît devoir être rapporté au calcaire alpin et repose sur un calcaire tout rempli de fossiles. La couche métallifère se compose le plus souvent d'une argile glaise ferrugineuse, brunâtre ou jaunâtre, dans laquelle la galène se trouve en veines ou disséminée en

masses arrondies, ou en cristaux cubiques isolés qui sont plus ou moins gros. En quelques points et surtout près de l'affleurement, cette argile prend une couleur bleuâtre et se charge d'une grande quantité de pyrites de fer. On y trouve aussi du plomb carbonaté cristallisé, blanc ou terreux et jaunâtre ainsi que du plomb phosphaté et chromaté. (*Ann. des Mines*, t. 12, p. 102.)

Si comme tout le fait présumer, ces minerais sont les produits des eaux minérales, il faudrait placer le chrôme parmi les éléments que les eaux ont amenés de l'intérieur du globe.

Nous avons considéré les filons de galène dans les terrains primitifs, et les filons de contact, comme des sentiers suivis par des eaux plombeuses pour arriver au jour ; à plus forte raison, devons-nous faire intervenir ces eaux métallifères pour les galènes disséminées en nodules dans les terrains de sédiment.

C'est ainsi que dans les mines de Bleiberg, situées sur la rive gauche du Rhin, ce minerai se présente, selon M. Pernollet, sous forme de petits noyaux composés d'un mélange de galène à grains fins et de sable blanc quartzeux ; ces noyaux sont semés à profusion et assez uniformément au milieu d'un grès parfaitement blanc, sans consistance et imbibé parfois de plomb carbonaté. On dirait du sucre blanc tout tacheté de gouttelettes de boue. Dans une autre partie, ce grès semé de nodules est divisé en trois ou quatre assises par autant de couches de conglomérat, ce qui prouve ici, comme dans une foule d'autres localités, des interruptions de dépôt par des causes troublantes, pendant que les sources métallifères agissaient toujours. « Car, ajoute M. Pernollet, le conglomérat n'est peut-être pas moins riche que le grès, mais son exploitation est considérablement moins

profitable, par suite de la dureté de la roche, de l'inégale distribution du minerai dans la masse, de la moindre puissance de la partie exploitable et de la pauvreté de la galène.

» La galène dans cette circonstance, dit Dufrenoy, aurait donc cristallisé au milieu même des grès au fur et à mesure de sa formation, comme cela a encore lieu pour certaines sources thermales qui produisent des nodules calcaires cristallisés. » (*Minéralogie*, t. 3, p. 224.)

Les mines de plomb du Missouri et du Visconsin décrites par M. Hodge dans l'*Américan Journal* (janvier 1843), sont des plus intéressantes au point de vue du neptunisme. La galène existe dans un calcaire en couches horizontales qui, lui-même, repose sur un calcaire bleu et sur un grès dans lequel il n'existe pas de plomb. Il faut donc qu'après le dépôt du grès, des sources calcarifères et plombifères aient formé ces couches métallifères. Il faut donc encore attribuer à ces sources les minéraux qui accompagnent la galène, tels que le sulfure et le carbonate de cuivre en rognons, la blende, et surtout le carbonate de zinc qui, quelquefois, occupe des filons tout entiers. La présence de ce dernier minerai ajoute une présomption de plus à l'origine hydro-thermale de toutes ces substances. Au-dessus du calcaire plombifère, on trouve dans quelques parties du Visconsin, des couches de houille bitumineuse et des bancs puissants d'une roche siliceuse, caverneuse, extrêmement dure, tout à fait semblable à la pierre meulière des environs de Paris. Enfin on y rencontre aussi du fer oligiste très-riche. Ainsi les eaux qui ont donné naissance à ces divers minéraux ont dû plusieurs fois changer de nature. On conçoit, en effet, qu'à une époque où la croûte solidifiée du globe était plus mince qu'aujourd'hui, que les dérangements et les dis-

locations par les tremblements de terre aient été plus fréquents et que l'issue des sources ait été déplacée, et les eaux soumises à des réactions très-différentes.

« La galène argentifère et aurifère de St-Santin Cantalès se trouve en filons dans une montagne formée, ainsi que le sol de la contrée environnante, d'un micaschiste renfermant çà et là des rognons de quartz. La direction générale des couches paraît se rapprocher de la ligne N.-S., elles plongent sous un angle moyen de 45°, et présentent de grandes irrégularités sous le rapport de leur direction ou de leur inclinaison. » Le traitement de ces galènes par les procédés électrochimiques a permis à M. Becquerel de constater un fait bien curieux ; c'est l'existence de sables aurifères dans le filon du moulin de Cazaret, sables tout à fait semblables aux autres sables aurifères contenant des gemmes, des pyrites et de l'or à l'état de paillettes, de lamelles, et de petites pepites roulées que l'on peut extraire avec des pinces. On a reconnu également plusieurs morceaux de quartz auxquels adhéraient encore des lamelles d'or.

» Je laisse maintenant aux géologues, dit M. Becquerel, à tirer telles conséquences qu'ils jugeront convenable des faits que je viens d'exposer, et qui se reproduiront très-probablement dans d'autres minerais traités par le procédé électrochimique, attendu que ce procédé dégageant la guangue et l'or des métaux qui peuvent être réduits à l'état métallique par l'action des courants électriques, permet de reconnaître dans quel état se trouvent la guangue et l'or. » (*Ann. des Mines*, 3e série, t. 17.)

La bournonite que l'on peut considérer comme un antimonite double de plomb et de cuivre, a été trouvée à Pontgibaud dans les mêmes conditions que la galène, sous la forme

de cristaux aplatis qui paraissent être des octaèdres rhomboïdaux ou des tables rectangulaires biselées. Mais Brard a recueilli aussi la bournonite dans le grès houiller de la mine de Cendras près Alais ; en sorte que les présomptions sont encore pour une origine aqueuse.

Le plomb gomme ou aluminate de plomb, que l'on pourrait plutôt appeler plombate d'alumine, et que l'on a trouvé à Huelgoet et en Beaujolais contient de l'eau et de la silice gélatineuse d'après Dufrenoy. Il ne peut pas être un produit plutonique. En serait-il de même des filons que M. Sauvage indique en Murcie, dans le terrain trachytique d'Almazarron? C'est une galène à grandes facettes à laquelle l'éruption trachytique a peut-être frayé une issue.

En Californie, d'après M. Laur, le plomb carbonaté, sulfaté ou sulfuré, la blende et la calamine forment des amas voisins de certains massifs basaltiques. Il est certain que ce sont les éruptions de cette roche qui ont appelé les eaux métallifères, comme en Auvergne les basaltes ont frayé le passage à des eaux siliceuses ou calcarifères.

Le plomb, l'antimoine, l'arsenic, le cuivre, le fer, souvent unis au soufre, constitnent une foule d'espèces minérales plus ou moins voisines de la galène, et dont l'origine est probablement la même. Les combinaisons de plomb, de chrôme, de vanadium, de molybdène, de tungstène n'ont pas été suffisamment étudiées dans leurs gisements pour que nous ayons des idées précises sur leur formation.

DU BISMUTH.

M. Daubrée a rencontré le bismuth natif dans l'intérieur d'une géode de chaux carbonatée nacrée, provenant

du gîte de Framont, dans les Vosges. Comme la plupart des cristaux contenus dans les géodes et particulièrement ceux qui appartiennent au carbonate de chaux, sont pour nous le produit d'eaux minérales; le bismuth pourrait donc aussi avoir une origine thermo-neptunienne.

DU MERCURE.

La volatilité du mercure et sa présence à l'état de sulfure dans les gneiss et dans les terrains de transition doivent, dans certains cas, faire présumer une origine plutonique. D'un autre côté, l'association du cinabre à l'antimoine oxydé dans les mines d'Hamimate, dans la province de Constantine, la présence de croûtes de mercure chloruré sur des masses de fer oxydé brun et la dispersion du mercure sulfuré dans des terrains de sédiments accusent une origine aqueuse ou un remaniement. Ce qui appuierait cette manière de voir, c'est le remplacement des coquilles par le mercure sulfuré à Idria et la concentration de ce minerai autour des poissons fossiles de Mochellandsberg. Or, la transformation des débris organiques en quartz, en baryte, en fer oligiste, comme en cinabre, ne peut s'expliquer que par la présence de ces matières dans une dissolution aqueuse.

Le mercure a été trouvé par M. Hautefeuille dans le minerai de cuivre natif argentifère du lac Supérieur. Il y existe, il est vrai, en petite quantité, mais la guangue du minerai, qui est le calcaire rhomboèdrique, indique une origine aqueuse.

M. Laur regarde encore les mines de mercure si riches de la Californie, comme le produit d'éruptions d'eaux ou de vapeurs métallifères. Les terrains situés à l'ouest de la

Sierra-Nevada ne renferment pas, dit-il, de filons de quartz avec or ou argent, « mais de très-riches dépôts de cinabre, dans le voisinage de roches de serpentine qui, en de nombreux endroits, ont pénétré les schistes. »

La relation du minerai de mercure et des roches magnésiennes est évidente. La description que donne M. Laur de ce minerai et des associations qui existent avec le mercure, ne laissent guère de doute sur l'origine hydro-thermale de ces produits.

« Le minerai est du cinabre, dit M. Laur, quelquefois imprégné de mercure métallique. Ses guangues sont : de la silice sous les formes diverses de quartz, de calcédoine laiteuse et d'enduit pulvérulent, de la chaux carbonatée dolomitique, des argiles ocreuses, de la stéatite blanche ou fortement colorée en vert par l'oxyde de chrôme, de la pyrite de fer arsenicale, enfin du bitume. Cette dernière substance imprègne quelquefois le cinabre au point de le rendre noir. Elle se présente encore en globules plus ou moins liquides dans des géodes que tapissent des cristaux de quartz ou de dolomie, et est quelquefois recouverte par une croûte cristalline, siliceuse ou calcaire. »

« Les guangues ordinaires des quartiers les plus chargés en cinabre sont les argiles et les oxydes de fer. Ces gisements sont extrêmement riches en mercure ; il n'est pas rare de voir sortir des mines des blocs pesant 4 à 5,000 kilogr. entièrement formés de cinabre massif. » (*Ann. des Mines*, 6e série, t. 3, p. 374.)

« Les relations que l'on observe entre ces gisements de cinabre et ceux de serpentine, continue M. Laur, conduisent à les rattacher l'un et l'autre à un même phénomène éruptif. On serait ainsi amené à considérer ces ser-

pentines, non pas comme une roche d'origine ignée dans le sens ordinaire du mot, mais plutôt comme un produit métamorphique, dérivant du gîte métallifère même. On devrait encore rattacher au même phénomème éruptif les sources d'eaux acidules et ferrifères que l'on trouve en abondance dans le voisinage de ces roches magnésiennes, les dépôts et sources de bitume du comté de Santa-Barbara et peut-être aussi les émanations d'acide borique, sur les bords du Clear-Lake, dans le comté de Napa. » (*Id.*, p. 376.)

Il faut encore attribuer à un dépôt d'eau minérale le cinabre de la mine de Vall'Alta, dans les Alpes vénitiennes. D'après M. Staff, ce cinabre formerait des imprégnations dans du gypse, dans les cavités duquel le sulfure de mercure est quelquefois cristallisé. Comme les autres guangues du minerai, ce gypse renferme aussi de la pyrite de fer, et de fortes efflorescences de sulfate de magnésie se produisent sur toutes les parois de la mine. (*Revue de géologie*, 1861, page 209.)

Enfin, parmi les gîtes de mercure auxquels il faut accorder une origine thermo-neptunienne, nous mentionnerons ceux de Combe-Guichard, dans le département de l'Isère.

Le mercure à l'état de cinabre existe dans le calcaire du lias caractérisé par les Ammonites et les Bélemnites qui appartiennent à la partie supérieure de ce terrain. « Un de ces gîtes, dit M. Scipion Gras, consiste en une couche de calcaire altéré, caverneux, mêlé d'argile ocreuse, dont l'épaisseur moyenne peut être évaluée à $0^m,50$. Cette couche, qui n'est pas nettement séparée du terrain environnant, renferme des nids et de petits filons de cinabre intimement uni à du zinc carbonaté et à du zinc sulfuré. On y rencontre aussi des rognons de bournonite argentifère présen-

tant souvent des indices de cristallisation. Le minerai de mercure n'est qu'un minerai de zinc coloré par du mercure, et renfermé dans une guangue calcaire. »

« Un autre gîte, peu éloigné du premier, a sa masse principale composée de chaux carbonatée, de dolomie, de quartz et de fer carbonaté spathique, dans lequel on trouve disséminés, de la bournonite, du carbonate de zinc, du cinabre, du zinc sulfuré et de la galène. » (*Bull. de la Soc. géol.*, 2e série, t. 8, p. 561.

CHAPITRE XXIII.

De l'Argent. — De l'Or. — Du Platine et des Métaux qui l'accompagnent.

—

DE L'ARGENT.

Les minerais d'argent sont aussi fort nombreux, et ce métal est assez souvent associé au fer, au chlore, au brôme, à l'iode et à d'autres métaux. Un grand nombre de minerais divers contiennent de l'argent et notamment les galènes, en sorte que si les anciennes eaux minérales ont eu la puissance de déposer du plomb, elles ont aussi produit de l'argent. D'ailleurs le terrain métallifère de l'Amérique Centrale « est composé de calcaires compactes gris, quelquefois assez fortement colorés, et qui appartiennent, sur la plus grande partie des Cordilières, aux formations secondaires les plus modernes. » (Dufrenoy, *Minéralogie*, t. 3, p. 465.)

Les mines d'argent y sont presque toujours dans le terrain calcaire. La guangue de ces minerais est le quartz dont les crêtes forment de longues saillies au-dessus du sol dégradé; la puissance et la richesse de ces filons sont parfois énormes.

L'argent qui existe dans l'eau de la mer prouve que les eaux minérales ont dû contenir autrefois ce métal.

Un minerai d'argent du Mexique qui a reçu le nom de Colorados, est composé de masses ocreuses, caverneuses

d'hydrate de fer, contenant aussi du quartz, du carbonate de plomb et du chlorure d'argent. Ce minerai, qui parfois s'écrase sous les doigts comme de l'ocre, se trouve principalement à la partie supérieure des filons de blende, pyrite et galène de San-Clemento. Sa structure accuse un dépôt d'eaux minérales.

Plusieurs des filons d'argent chloro-bromuré du Chili traversent aussi des roches de nature différente, s'enrichissant dans les unes, s'appauvrissant dans les autres, faits bien difficiles à expliquer par des injections plutoniques.

Au reste, ce que nous allons dire des gisements et de l'origine de l'or, doit aussi s'appliquer à l'argent, car il est bien rare que l'or ne soit pas argentifère.

DE L'OR.

L'or, comme la plupart et peut-être comme toutes les substances métalliques, provient de l'intérieur du globe. C'est de tous les métaux le plus fréquent après le fer, mais il se trouve rarement en masses considérables.

L'or est-il sorti fondu du sein de la terre, ou bien a-t-il été amené de ses profondeurs par des vapeurs aqueuses chargées de principes divers?

L'étude des gisements de l'or dans ses mines principales, l'examen des circonstances diverses dans lesquelles se trouve ce métal, nous permettront de déterminer cette origine.

Constatons d'abord que, dans la très-grande partie de ses gisements, l'or est associé au quartz et souvent aussi à des oxydes et à des sulfures de fer.

Au Brésil, c'est dans les quartzites et dans une roche composée de quartz, de fer oligiste et accidentellement de man-

ganèse, que se trouvent les exploitations d'or les plus importantes. « Ce métal précieux, dit M. Pissis, est ordinairement accompagné d'une roche altérée, nommée dans le pays *jacutinga*, qui est friable et chargée de manganèse ; l'or y forme de petites veines, ayant quelquefois 5 millimètres d'épaisseur, courant dans toutes les directions, et dont la richesse semble se trouver en rapport avec la présence du jacutinga. » (*Comptes rendus de l'Académie des sciences*, t. 17, p. 33.)

Dans la province de Minas Geraes (au Brésil), la roche schisteuse, composée de talc et de quartz, est coupée, selon M. Denis, par une grande quantité de veines ou filons de quartz hyalin amorphe ou cristallisé de différentes couleurs. Ces veines contiennent une foule de minéraux dont l'origine est bien problématique, si l'on n'admet pas la formation de ces veines par voie aqueuse. Les minéraux cités par M. Denis sont : l'or natif, les pirytes martiales, arsenicales et cuivreuses, le tellure, le bismuth sulfuré et oxydé tous aurifères, le plomb sulfuré et carbonaté argentifères, le titane anatase, le rutile, le sphène, le disthène, les tourmalines, l'amphibole, le manganèse, le fer oligiste spéculaire cristallisé ou irisé, le fer titané, les hématites de fer, le fer oxydulé octaédrique, l'arséniate de fer, la chaux carbonatée ferrifère, les grenats, etc. Il y a donc là un mélange de minéraux dont les uns sont certainement neptuniens, tandis que d'autres passent pour être plutoniens. La vapeur surchauffée et riche en silice peut seule nous rendre raison de cette association. D'un autre côté, le terrain qui contient ces minéraux est stratifié.

Le minerai d'or de la Virginie est un quartz blanc saccharoïde ou compacte, intercalé dans des schistes primitifs.

Dans la Caroline du Nord, l'or se trouve associé à l'oxyde de fer brun et à l'oxyde de fer rouge, à des hématites radiées. On comprendrait difficilement par injection plutonique comment l'or pourrait se trouver en beaux échantillons dans l'intérieur des druses et des géodes.

L'or du filon de Marmato en Amérique se trouve associé à l'état natif à des pyrites et à du fer oxydé. Ces mines contiennent aussi de la blende noire. Tout indique que ces filons situés dans une siénite y ont été déposés par des vapeurs d'eaux thermales ou sont peut-être directement des dépôts d'eaux minérales.

On ne peut guère douter que l'or des filons de la Hongrie et de la Transylvanie n'ait la même origine que les autres minerais des filons de ces contrées.

L'or de Berezowka dans l'Oural se trouve aussi dans du quartz qui forme des veines dans des filons de granite, qui eux-mêmes sont enclavés dans une grande formation de schiste talco-chloriteux. L'association constante de l'or avec le quartz est un fait des plus remarquables. Le granite en s'injectant dans le schiste a ouvert la voie aux émanations de quartz et d'or qui sont contemporaines et qui sont arrivées accompagnées de vapeur d'eau, peut-être même en dissolution ; car, selon M. Blum, outre le quartz et l'or en veines, ces filons contiennent encore de la pyrite, du minerai de fer brun, l'un des associés de l'or dans la plupart de ses gisements, du cuivre carbonaté vert et bleu, du carbonate de plomb, du plomb chromaté, du plomb phosphaté vert.

Le filon de Zmeof, en Sibérie, offre toutes les traces d'un filon rempli par les eaux minérales. On trouve dans son intérieur des masses d'argiles, les unes blanches, les

autres diversement colorées et plus ou moins chargées d'oxyde de fer, de cuivre et de plomb. Les plus ferrugineuses sont riches en or, les autres contiennent de l'argent. L'association de l'or et du fer est un fait assez fréquent. Dans ce même filon on trouvait du sulfate de baryte contenant un peu d'or et d'argent natif en petites masses irrégulières, etc. (*Journal des Mines*, t. 9, p. 307.) Ce filon a cela de remarquable, que l'or y existe dans un calcaire lamelleux grisâtre. On a aussi cité de l'or disséminé dans un calcaire saccharoïde des Asturies.

L'or de Vittoria, en Australie, d'après MM. Salwyn et Brough Smyth, se trouve dans le terrain silurien, et il accompagne des veines de quartz. Accidentellement, ces veines sont intercalées entre le plan des couches et plus souvent encore entre les joints de clivage, mais elles peuvent cependant les couper tous deux. Ces veines pénètrent dans le silurien supérieur. Les minéraux qui accompagnent l'or sont, indépendamment du quartz, la pyrite de fer, l'oxyde de fer, l'oxyde noir de manganèse, et quelquefois le carbonate de bismuth. (Delesse et Laugel, *Revue de géologie*, 1861, p. 117.)

Il nous reste à parler du gisement et de l'origine des plus importantes de toutes les mines d'or, de celles de la Californie. Ces mines ont été étudiées avec soin par M. Marcou et par M. Laur, ingénieur des mines. Un Mémoire des plus intéressants sur l'action des eaux minérales dans la production des métaux, a été présenté à l'Académie des sciences par ce dernier, dans sa séance du 16 décembre 1861. Plus tard, en 1863, les vues de M. Laur sur ce sujet et sur l'origine de l'or ont été développées par lui dans les *Annales des Mines* (t. 3, 6e série).

Jusqu'ici les partisans du dépôt des métaux dans les filons par les vapeurs et les eaux minérales, n'avaient pas même osé soupçonner l'or d'avoir été amené par des actions de ce genre, et voici maintenant M. Laur qui, après avoir étudié avec soin les gîtes aurifères de la Californie, ne voit pas d'autre origine à ce précieux métal que les émanations aqueuses de l'intérieur du globe.

Les quartz si fréquents dans toute la Californie sont constamment associés à l'or, et ont certainement la même origine. « Il semble, dit M. Laur, que ces dépôts siliceux doivent être considérés comme les produits dérivés des éruptions successives qui se sont fait jour dans le pays. Cette sorte de sécrétion de quartz aurifère paraît avoir commencé lors de l'apparition des trachytes; depuis elle n'a pas été interrompue; elle est aujourd'hui encore continuée par les eaux thermales, dernière manifestation des forces éruptives; de sorte qu'en étudiant le fait actuel, tout réduit qu'on puisse l'observer, on peut juger de ce qu'il a dû être lorsque les actions qui le produisaient avaient toute leur énergie. »

Les exemples cités par M. Laur rappellent des faits absolument semblables qui, à l'exception de la présence de l'or, se sont passés en Auvergne. L'apparition des basaltes dans cette dernière contrée, comme celle des trachytes en Californie, a frayé le passage à des sources nombreuses dont quelques-unes coulent encore et ont amené partout dans les roches préexistantes, le fer, l'arragonite et la silice.

La même chose a lieu en Californie. M. Laur, après avoir cité des eaux minérales bouillonnantes qui se projettent hors des crevasses du terrain primitif, indique « la formation d'un véritable filon de quartz aurifère au contact du

granite par l'action de la vapeur d'eau dérivant d'une éruption de basalte. »

« Il est extrêmement probable, continue M. Laur, que les filons de quartz aurifère anciens, si nombreux dans la contrée, doivent leur origine à des phénomènes analogues. »

L'or de la Californie occupe un vaste espace. C'est un grand rectangle, dit M. Laur, dont la surface presque entière est couverte par des terrains diluviens aurifères, tandis que son sol est traversé en son milieu et sur toute sa longueur par un puissant filon de quartz contenant plus ou moins d'or. La superficie totale de cette zone de l'or est de environ 19,000 kilomètres carrés.

M. Laur a remarqué aussi en Californie que les veines de quartz renfermées dans les roches éruptives, se sont produites au contact seulement de ces roches et des schistes anciens. Les filons aurifères sont tous à guangue de quartz; « ils ne contiennent à proprement parler, dit M. Laur, que cette seule roche. On y trouve, outre l'or, de la pyrite de fer ordinaire, de la pyrite arsenicale, de la blende, de la galène. »

L'apparition de ce quartz aurifère aurait pour cause première et déterminante le soulèvement de la Sierra Nevada, que M. Laur considère comme postérieur au dépôt du terrain tertiaire le plus récent, mais antérieur aux éruptions trachytiques et basaltiques, par lesquelles certains filons aurifères ont été disloqués.

M. Laur, dans ce remarquable Mémoire, signale dans les filons de quartz aurifères les caractères généraux de leur degré de richesse.

« On peut dire que le quartz des filons très-pauvres ou presque stériles, est compact, tenace, à cassure vitreuse et

conchoïde, sans aucune trace de pyrite ou d'oxyde de fer; tandis que les quartz des filons riches sont rubannés et feuilletés, peu résistants sous le marteau, de couleur blanchâtre, rarement cristallisés, d'un éclat gras ou résineux dans les cassures fraîches, et montrent toujours dans les affleurements quelques mouches de pyrite ou d'oxyde de fer. Un signe de richesse fort apprécié des mineurs, est l'interposition, au milieu de la masse de quartz qui remplit le filon, de lits d'argile ocreuse avec des grains de quartz cristallisés, libres dans cette argile. Ces veines sont le plus souvent extrêmement riches en or. L'une d'elles, d'une épaisseur de 8 à 10 centimètres, rendait 10,280 francs d'or argentifère aux 1,000 kilogrammes de minerai. »

« L'or se présente le plus souvent sous forme de grains ou de paillettes facilement discernables dans la guangue quartzeuse. »

Le fer hydraté, qui accompagne l'or, ne se trouve que près des affleurements. Il paraît provenir de la décomposition des pyrites, lesquelles restent intactes à une certaine profondeur; mais les argiles ocreuses avec cristaux de quartz, argiles si riches en or, caractérisent une formation analogue à celle de tous les hydrates de fer.

M. Laur a aussi observé que la richesse générale des quartz aurifères paraît être en rapport inverse de l'épaisseur des filons. Il cite comme exemple de cette richesse, un bloc de quartz abattu d'un seul coup de mine, ayant produit 375,000 kil. d'or et de quartz sortant du même filon et tenant 21 pour cent de métal.

Un des faits les plus curieux et qui n'est nullement en opposition avec la théorie de l'apport de l'or par les sources silicifères, c'est que la richesse des mines va en diminuant

à mesure que l'on s'enfonce, et les veines les plus riches sont les plus superficielles. Cette observation rend compte de la richesse de certains placers, formés par les débris arrachés aux anciens affleurements des filons.

Ce sont en effet, les parties supérieures de ces filons qui sont les plus riches. Or, comme les parties supérieures des filons actuels ne sont à découvert que par suite de l'altération et de l'érosion des parties qui les recouvraient, ces dernières parties étaient plus riches encore, ce qui explique comment les anciennes alluvions renferment quelquefois des quantités considérables de métal.

La présence de l'or dans la partie supérieure de ces gîtes de quartz et sa diminution à mesure que l'on s'enfonce dans l'intérieur du sol, prouveraient encore que ce métal entraîné par des vapeurs, se serait principalement condensé dans la partie refroidie de la couche terrestre. Les mines de l'Oural présentent surtout la distribution que nous indiquons.

Il ne faudrait pas cependant conclure de là, que tous les riches placers sont dus à l'altération et à la décomposition des affleurements de filons de quartz ; nous apporterons plus loin quelque restriction à cette manière de voir.

M. Laur considère l'apparition de l'or en Californie, au moins dans la plupart de ses mines, comme un fait récent, et en quelques rares circonstances, comme un fait contemporain. Il indique la présence de l'or dans les sécrétions siliceuses de sources thermales actuelles que l'on trouve dans la vallée de Steamboat au nord de Washae-Lake.

« Ces sources, dit-il, sont situées au pied de l'escarpement oriental de la Nevada, à 1,560 mètres au-dessus du niveau de la mer. En ce point le sol a été fracturé ; il présente aujourd'hui plusieurs crevasses rectilignes et parallèles

parcourues par des eaux thermales ou simplement par de la vapeur d'eau. Pendant l'hiver, l'eau de ces crevasses déborde et s'écoule ; pendant l'été elle n'arrive pas au dehors, mais on l'entend en ébullition à une petite profondeur ; les parois de ces crevasses sont tapissées de concrétions siliceuses.

» Sur la plus orientale de ces lignes de fracture, on remarque cinq centres d'éruptions plus actives, où l'eau thermale, toujours projetée au dehors, s'élève en ébullition à la hauteur de 7 ou 8 pieds. Ces eaux sont alcalines et contiennent principalement du carbonate et du sulfate de soude. Elles dégagent aussi en certains temps, de l'hydrogène sulfuré. En arrivant au jour, elles laissent déposer du soufre, de la silice et de l'oxyde de fer à l'état d'oxyde rouge anhydre. La silice et cet oxyde rouge forment une masse cristalline de structure spongieuse, âpre au toucher, disposée par tranches parallèles. Tous ces dépôts accumulés tout autour des points d'émergence y circonscrivent de petits bassins circulaires, dont les bords vont toujours en s'élevant ; l'eau déborde en dehors et continue à accumuler ses dépôts tout autour des bassins d'où elle découle, sous forme de monticules coniques, de sorte que ces sources thermales se présentent à leur émergence comme de petits volcans d'eau bouillante.

» D'autres fentes situées à 1,500 mètres de celles-ci dégagent encore de la vapeur. Plusieurs de ces fentes sont obstruées par des dépôts de silice, lesquels se sont épanchés aussi à la surface du sol, s'accumulant sous des épaisseurs de 2 à 3 mètres tout le long de la crevasse, et s'étendant quelquefois jusqu'à 15 et 20 mètres des deux côtés de ses bords. Ces dépôts sont exclusivement siliceux.

» La silice se présente ici sous la forme d'une roche com-

pacte, dont quelques blocs arrivent à un volume de plus de 10 mètres cubes, et qui est formée par un mélange de quartz identique au quartz des filons ordinaires, de silex, de calcédoine, plus ou moins rubanée, mêlée de quelques nodules d'hyalite. Cette roche siliceuse est métallifère ; outre l'oxyde de fer rouge qui la pénètre presque toujours, on y trouve aussi, mais en très-petite quantité, de l'oxyde de manganèse, de la pyrite de fer, de la pyrite de cuivre et enfin de l'or métallique. Ce dernier métal apparaît sous la forme de paillettes douées de l'éclat métallique et soluble dans le mercure.

Ces eaux chaudes de Steamboat-Valley mettent aussi sous les yeux, en ce qui touche les filons de quartz et d'or, une sorte de vérification expérimentale de la théorie qui considère une certaine classe de gîtes métallifères, *comme des dépôts opérés par les eaux minérales dans les fissures qu'elles parcourent.* » (*Ann. des mines*, 6e série, t. 1, p. 422.)

C'est en effet la théorie que nous avons soutenue et discutée au congrès scientifique de Clermont en 1836, et que M. E. de Beaumont a développée le plus tard dans le *Bulletin de la Société géologique de France.*

Ainsi voilà l'or convaincu d'origine thermo-neptunienne avec le quartz et l'argile ocreuse qui l'accompagne. Mais M. Laur va plus loin ; il regarde encore comme produit par le déversement des eaux thermales abondantes et aurifères, le métal contenu dans plusieurs placers alluviens de la Californie. Il se fonde sur ce que l'or en place n'a jamais été trouvé que dans les filons de quartz ; sur ce que cette roche a dû plus que tout autre résister à l'érosion. « Cette prédominance des galets de quartz, dit M. Laur, est aussi bien loin

d'être absolue dans les placers du nord notamment ; la richesse des chantiers n'est nullement en rapport avec l'abondance des débris de quartz au milieu des graviers, et dans le comté de Mariposa à Agua Fria, et dans les vallons compris entre Bear-Valley et Mariposa, M. Laur a vu des placers extrêmement riches, où un galet de quartz était une rareté. L'abondance de l'or dans ces derniers placers appellerait donc à elle seule, une explication autre que celle tirée de la destruction des filons de quartz. C'est alors qu'il appelle à son secours la présence de l'or dans les sécrétions siliceuses des sources thermales actuelles de Steamboat.

Il fait ensuite remarquer, la ressemblance qui existe entre ces quartz contemporains et aurifères et les quartz des filons plus anciens.

« Si maintenant, dit-il, on rapproche les filons de quartz sans nombre, qui affleurent sur les collines des hauts plateaux à l'est de la Nevada, des sels alcalins qui viennent effleurer sur le sol des plaines, et qui saturent certains lacs et certains cours d'eau, on aura les deux termes d'un vaste phénomène que les sources de Steamboat laissent peu de peine à reconstituer. Les quartz des collines et les alcalis des plaines ne sont alors que les deux produits de sources thermales dérivant des divers massifs éruptifs qui se sont fait jour dans la contrée.

» Une foule de dépôts, dit M. Laur, ne peuvent s'expliquer par la destruction des filons de quartz, tels sont les dépôts de terres ocreuses aurifères, dont on explique très-nettement les diverses circonstances de gisement en les considérant comme le dépôt opéré par les eaux thermales et minérales auxquelles serait due la formation même des filons.

» Un gisement d'or très-curieux et auquel on est obligé

d'assigner une origine neptunienne, a été signalé par M. Duval au mont Sarrans, près de Cramant, au sud d'Epernay, dans le terrain d'argile plastique lignifère. M. Duval y a trouvé du fer hydroxydé (limonite oolithique) empâté dans une argile bigarrée, souvent tachée de rouge vif. Ces grains de 5 à 6 millimètres de diamètre, sont quelquefois recouverts d'une pellicule jaune d'or natif mêlée de pyrites d'un jaune verdâtre ; l'argile qui les renferme est parsemée de petites lamelles brillantes de la même couleur ; la masse séchée, pulvérisée et traitée par le mercure pur, a donné à M. Duval de l'or en parcelles, bien reconnaissable. 500 grammes lui en ont fourni environ 5 centigrammes. (*Bull. de la Soc. géol.*, t. 14, p. 104.)

Si cette analyse faite à la hâte, comme le dit M. Duval, est exacte (ce dont nous doutons), ce serait bien la première fois que ce métal se serait trouvé sous la forme d'une précipitation chimique opérée pendant le dépôt de l'argile plastique.

DU PLATINE ET DES MÉTAUX QUI L'ACCOMPAGNENT.

Si l'on accordait aux eaux thermales le pouvoir d'apporter l'or directement dans les alluvions, il faudrait reconnaître la même origine au platine, au palladium, à l'osmiure d'iridium et à ces métaux peu altérables dont le gisement dans les roches primitives est pour ainsi dire inconnu.

Il faut se rappeler cependant que le platine a été trouvé en place par M. Boussingault à Santa-Rosa de Osos en Colombie dans un filon d'or encaissé lui-même dans une siénite décomposée. Ce sont des filons qui renferment des oxydes de fer hydratés, mélangés de quartz ou d'argile jaune. « La

puissance de ces filons, dit M. Boussingault, est seulement de quelques pouces. L'or se trouve disséminé dans le fer hydraté ou dans le quartz. » Les lavages de ces minerais donnent l'or en poudre. Mais avec cet or le savant voyageur que nous venons de citer a trouvé des grains de platine arrondis, et en tout semblables par leur forme et par leur aspect à ceux qui viennent du Choco. Ce fait du gisement de platine dans un filon de fer oxydé, dit M. Boussingault, me semble pouvoir jeter quelque jour sur l'origine du platine qui se rencontre dans les terrains d'alluvion, origine qui, jusqu'à présent, a été fort problématique. » *Ann. de Chimie,* t. 32, p. 209.)

Plus loin, sur les hauteurs de la Cordilière situées entre la rivière de Medelline et le Cauca, un filon indiqué par un Indien offrait une guangue de quartz laiteux et du minerai de fer hydraté dans lequel l'or et le platine sont disséminés en grains. Le quartz et le fer hydratés sont presque toujours des produits d'eaux minérales.

La forme arrondie des grains de platine, comme celle de beaucoup de pépites d'or, comme celle du diamant dans la plupart de ces gisements, n'implique pas nécessairement que ces matières si dures aient été roulées et usées par le mouvement des eaux qui ont formé les alluvions. La forme arrondie ou globulaire est la plus fréquente, celle qui appartient, en quelque sorte, à tous les corps, depuis le plus petit grain d'oolithe jusqu'aux astres les plus considérables du firmament.

Le fer hydroxydé est toujours un produit des eaux minérales, et l'or et le platine qui s'y trouvent disséminés ne peuvent avoir une autre origine. Un excès de chaleur eût fait partir l'eau de l'hydrate de fer et l'eût changé en tri-

toxyde rouge, tandis qu'aucun de ces effets n'a eu lieu même à la surface, sur les affleurements qui sont principalement riches en métaux précieux.

M. Damour a signalé, dans les terrains aurifères de la Guyane, un alliage de platine, d'or, d'argent et de cuivre, association qui n'avait pas encore été mentionnée dans le règne minéral. « La facilité avec laquelle l'acide nitrique dégage le platine à l'état de grains et de paillettes brillantes des trois autres métaux qui l'accompagnent, font supposer à M. Damour que la petite masse métallique, lorsqu'elle s'est formée, n'a pas subi l'action d'une température capable de la fondre et de déterminer ainsi un alliage intime avec ces métaux. Il paraît plus probable, ajoute-t-il, que la pépite s'est formée par voie de réduction galvanique et dans des circonstances analogues à celles que M. Rivot a observées sur les gîtes du lac Supérieur, dans les Etats-Unis, où le cuivre natif se trouve associé et juxtaposé à l'argent, sans qu'il y ait pénétration intime ou alliage entre ces métaux.

« L'étain métallique est aussi indiqué comme associé à l'or dans les mêmes gisements et dans les mêmes circonstances. » *Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, t. 52, p. 688.)

Les beaux travaux de M. Becquerel expliquent parfaitement ces réductions métalliques, mais encore faut-il que des solutions métallifères aient existé, et nous ne voyons que des eaux minérales capables d'amener de telles dissolutions de métaux peu oxydables.

Si l'on venait par la suite à démontrer que l'or et le platine peuvent avoir été amenés dans leurs gîtes primitifs par des vapeurs aqueuses, il faudrait en conclure qu'il n'est

plus aucun élément que les eaux et les vapeurs hydro-minérales n'aient pu apporter de l'intérieur du globe. Le palladium, le rhodium, l'iridium, le ruthenium et l'osmium, ces raretés minéralogiques, doivent suivre la genèse du platine.

De même, si l'on parvient aussi à prouver que l'étain peut être dû à des eaux métallifères, il faudra aussi accepter tout son cortége et croire à la toute puissance de l'eau, qui a pu, à toutes les époques géologiques, pénétrer plus ou moins profondément sous les terrains primitifs, et y puiser les éléments qui s'y trouvent soustraits à l'ambition et à la curiosité des hommes.

CHAPITRE XXIV.

De la matière organique des Eaux minérales, et de son influence sur le développement des êtres organisés.

—

Les analyses d'eau minérale faites avec soin, indiquent presque toutes une matière organique particulière qui existerait dans les sources, mais qui serait encore fort peu connue. On trouve cette substance indiquée sous le nom de matière organique, matière végéto-animale, matière grasse organique, etc. Dans ces derniers temps, elle a été reconnue et étudiée sous les noms de barrègine, glairine, etc., parce qu'on a reconnu, en effet, que ses caractères variaient dans telle ou telle source.

Toutes les eaux chaudes renferment ce singulier principe, qui se modifie bientôt de mille manières différentes. On le retrouve aussi dans les eaux de sources, de rivières, dans l'eau de mer. L'eau de pluie contient aussi une matière organique. Nous ne pouvons affirmer que ces matières soient identiques, mais nous devons dire qu'elles ont toutes une grande tendance à se combiner ou à s'organiser.

Les eaux mères de la saline de Bex, analysées par M. Morin, lui ont donné de la matière organique en quantité assez grande pour que le résidu calciné puisse offrir une proportion de charbon appréciable. (*Bibl. de Genève*, janvier 1841.)

M. Fournet a reconnu dans les galeries des mines de Pontgibaud, qu'indépendamment des produits minéraux, il existe à Barbecot, une source qui fournit assez abondamment et

par intervalles, une matière verte de nature organique, qu'il regarde comme analogue à celle que Vauquelin a signalée dans les eaux de Vichy.

Cette matière organique, dont on retrouve les traces dans les dépôts les plus anciens des eaux minérales, ne peut s'obtenir à l'état de pureté ; l'évaporation, quoique très-ménagée, la détruit, comme l'a remarqué Robiquet, et elle a, du reste, une telle tendance à se combiner qu'elle arrive quelquefois au jour unie à des matières minérales. Les eaux qui en contiennent une certaine quantité, sont douces et comme savonneuses au toucher, mais la chaleur, portée au degré de l'ébullition, détruit ce caractère. Il paraîtrait cependant que cette matière existe libre dans certaines eaux, et l'on peut très-facilement l'apercevoir au microscope solaire. Il suffit de placer sur le porte-objet de très-petites gouttelettes d'eau que le soleil ne tarde pas à volatiliser. On voit alors une petite membrane gélatineuse qui se tend sur le porte-objet, et qui, adhérent par ses bords, se plisse de mille manières, jusqu'à ce que la dessication soit complète. Alors la membrane gélatineuse est entièrement chiffonnée, adhérente au verre, et occupe tout l'espace sur lequel se trouvait la goutte. Cette expérience extrêmement curieuse, et qui ne laisse aucun doute sur la nature de la matière contenue dans les eaux, réussit très-bien avec l'eau du Mont-Dore, et surtout avec l'eau de Néris. Celle-ci, contenant à peine de la matière saline, renferme une grande quantité de ce principe organique, qui se solidifie bientôt par l'action du soleil. L'eau, concentrée par une évaporation ménagée, donne encore cette membrane gélatineuse, mais les sels qu'elle contient se trouvent tellement rapprochés, que leur cristallisation confuse masque les plis et les mouvements de

la membrane gélatineuse qui, tendue par ses bords, grimace et se dessèche en peu d'instants.

Cette matière est visible sous cette forme dans l'eau qui sort de la source, dans celle qui est refroidie, transportée, gardée même pendant longtemps, pourvu que ces eaux aient été soigneusement puisées au bouillon ; mais à peine l'eau thermale a-t-elle reçu le contact de l'air et de la lumière, qu'une véritable organisation se développe dans cette matière, singulière matrice des créations spontanées de notre époque.

C'est qu'en effet la tendance à s'organiser paraît être un des principaux caractères de cette matière. Elle peut seule et sans germes préexistants, se transformer en organismes dont les uns, le plus petit nombre, naissent dans l'obscurité, tandis que la plupart se produisent sous l'influence de la lumière.

Cette matière organique des eaux est plus abondante et peut-être plus rapprochée de l'organisation dans les eaux minérales que dans les sources qui sont alimentées par les eaux pluviales. Ce qu'il y a de remarquable, c'est que sous l'influence de la lumière, c'est presque toujours une matière verte ou rouge qui se produit. C'est ce que l'on voit d'une manière évidente à Néris ; c'est ce que MM. Jutier et Lefort ont reconnu aussi à Plombières. « Lorsque le bain romain, alimenté par la principale source était complétement à découvert, il donnait lieu à une formation abondante de Conferves, dont une partie s'attachait aux parois et rendait le pavé glissant, tandis qu'une autre venait s'étaler à la surface de l'eau. Le développement de ces Conferves était si rapide, que pour arrêter leur végétation, il fallait vider le bain au moins tous les huit jours et le nettoyer complétement. » (Jutier et Lefort, *sur les eaux de Plombières*, p. 128.)

L'eau de Louesch présente aussi, à la source, une substance verdâtre, azotée, lamelliforme, qui pourrait être prise, dit Fontan, par des observateurs peu attentifs, pour une matière analogue à la barrègine des eaux sulfureuses; mais cette substance, examinée au microscope, n'est autre chose qu'une réunion d'Oscillaires de 1/400 de millimètre de diamètre, comme on en trouve sur le passage des eaux de Bagnères de Bigorre. (*Ann. de chim. et de phys.*, 2e série, t. 74, p. 284.)

C'est avec raison, selon nous, que M. Léon Soubeiran adopte le nom de *glairine* pour désigner cette matière organique des eaux minérales, et qu'il abandonne toutes les dénominations géographiques et chimiques qui avaient été proposées; c'est avec raison encore qu'il dit dans son *Essai de la matière organisée des sources sulfureuses des Pyrénées*, « que la matière organique que l'on rencontre » dans les sources sulfureuses se présente sous deux aspects » différents, à l'état amorphe et à l'état organisé. »

Tant que cette matière est amorphe, elle ne laisse voir aux plus forts grossissements, aucune trace d'organisation, au moins dans les eaux de Néris dont la matière s'organise si rapidement. La description que donne Turpin de la glairine des eaux sulfureuses nous fait supposer qu'il n'a vu cette substance que déjà déposée, commençant à s'organiser, et non en mettant une goutte d'eau minérale, au sortir de terre, sur le porte-objet d'un microscope solaire où l'eau s'évapore et laisse une pellicule sèche et ridée.

Nous ne pouvons admettre non plus les idées de ce savant quand il dit que la glairine « offre une sorte de gangue mu- » queuse, chaotique, formée d'une grande quantité de » particules organiques, transparentes, sans couleur et

» sans mouvement monadaire, particules provenant sans » doute de nombreux débris ou détriments d'organisations » végétales et animales qui ont précédé. »

Quand on voit la matière organique primitive, sans traces d'organisation, sortir avec les eaux de Néris du granite et des roches cristallisées, on se demande où peuvent être les organisations qui ont précédé. C'est revenir à l'opinion erronée et non réfléchie de ceux qui attribuent les matières salines des eaux minérales aux lavages des terrains qu'elles traversent.

Durocher a émis sur les eaux minérales des Pyrénées (*Bull. de la Société géologique*, t. 10, p. 427, 2e série), des idées théoriques qui nous paraissent complétement inadmissibles, entr'autres celle de faire venir la matière organique de ces eaux des débris organiques déposés dans des roches paleozoïques qu'elles sont censées traverser. Il y a longtemps que les eaux minérales auraient cessé d'apporter les diverses substances que contiennent ces roches si elles étaient obligées de les dissoudre dans leur trajet. Nous regardons la matière organique des eaux thermales comme provenant de l'intérieur du globe, comme une combinaison d'éléments produits sous certaines conditions, comme les sels divers qui les accompagnent. Nous avons publié notre opinion à cet égard en 1833; nous l'avons basée sur des faits et nous avons vu avec plaisir cette origine de la matière organique admise par M. Ch. S. C. Deville (*Bull. de la Soc. géol.*, 2e série, t. 10, p. 429.)

Serait-ce là le moyen qu'aurait employé la nature pour répandre sur la terre la matière organique nécessaire aux premiers êtres vivants? Car aucun de ces êtres n'a pu se nourrir de matière inorganique, et cependant les premiers êtres

créés ont dû consommer des substances nutritives avant d'en fournir eux-mêmes après leur mort et par leur décomposition. On conçoit très-bien maintenant comment les êtres vivants se développent et se nourrissent aux dépens les uns des autres, et l'on voit cette matière organisée revêtir successivement des formes nombreuses que les forces vitales modifient de mille manières; mais avant que la terre fût couverte de végétaux, avant que les animaux eussent abandonné sur le sol leurs dépouilles mortelles, où était la matière organisée qui devait les nourrir? Quand il a plu au Créateur de peupler notre globe, inanimé jusqu'alors, quel moyen a-t-il employé pour nourrir ces êtres, ou, ce qui revient au même, pour créer la substance organisée primitive qui devait ensuite prendre des configurations si différentes en parcourant la longue série des siècles, dans des circonstances si diverses et sous des influences si variées?

Tout nous porte à croire que c'est cette matière organique, dont l'abondance dut être autrefois en rapport avec l'immense développement des sources thermales, qui a été le premier principe de l'organisation sur la terre. Actuellement encore, s'il existe des générations spontanées, comme nous ne pouvons guère en douter, c'est dans les eaux thermales qu'elles ont lieu, ou dans les eaux de la mer, qui contiennent aussi cette substance, ou bien nous les produisons à notre gré dans les infusions, chaque fois que nous ajoutons à l'eau pure un peu de cette matière organique, sans laquelle la vie ne peut exister.

Nous avons des exemples nombreux de la tendance que cette matière présente à l'organisation. Ainsi, M. Cotta a trouvé des animaux microscopiques dans les eaux de Carlsbad. M. Dumas et Bertrand, inspecteur des eaux du Mont-Dore,

en ont remarqué dans celles de Saint-Nectaire ; mais le plus souvent c'est en substances végétales que la transformation a lieu, et presque toutes les eaux thermales produisent ces filaments glaireux, d'abord incolores et passant promptement au vert, qui ont été décrits par M. Lonchamp sous le nom de barrègine, parce qu'il les observa d'abord à Barrèges, et par Robiquet, qui les a soigneusement étudiés à Néris, où ils semblent se produire avec plus d'abondance que partout ailleurs.

L'eau de la mer, quoique moins chargée en matière organique que l'eau minérale, nous présente aussi ces sortes de créations, dont il est bien difficile de déterminer l'origine. Ainsi on voit souvent, dans les réservoirs des salines appelés *tables*, des eaux d'une belle couleur rose avec un reflet violet, ou bien des eaux d'un rouge orangé ferrugineux, sur le bord desquelles on observe une écume de même couleur. Dunal, qui a soigneusement étudié ce phénomène, s'est occupé des causes qui pouvaient le produire, et il a vu que, malgré la forte salure de ces eaux, il s'y développait de nombreux globules sphériques très-petits qui lui ont paru constituer un véritable *Protococcus* auquel il a donné le nom de *salinus*. Cette petite plante se développe au fond de l'eau, et sa belle couleur rose ou violette se reflète sur tout le liquide qui la recouvre. Dans d'autres réservoirs que ceux où il a trouvé le Protococcus salinus, Dunal a découvert une autre substance, d'un rouge orangé foncé, qui arrivait à la surface de l'eau. Soumise à un grossissement de 200 fois son diamètre, cette substance a offert une réunion de nombreux individus d'une espèce du genre *Hœmatococcus*, l'un des plus simples de la famille des Algues. Dunal a fait remarquer aussi que c'est une autre espèce du même genre,

Hœmatococcus Noltii, qui colore en rouge les marais tourbeux de Schleswig.

Quoique ce botaniste indique un Protococcus et un Hœmatococcus, il pense cependant que ces deux prétendues espèces ne sont qu'une même plante qui, jeune, est un Protococcus, et, mieux développée, devient un Hœmatococcus. Combien de mutations semblables s'opèrent au sein des eaux! Combien de ces globules organisés, nés du seul contact de l'air et de la lumière avec cette matière vivante des eaux, se sont ensuite modifiés et transformés en espèces nouvelles! et jusqu'où ne pourrions-nous pas arriver, si nous suivions les idées bien séduisantes de quelques savants, qui pensent avoir reconnu dans les globules du sang, du lait ou d'autres liquides animaux, et dans les phénomènes de la fermentation, quelque analogie avec les Protococcus, les Monades et les Vibrions, premières créations de la vie!

En étudiant soigneusement les admirables dépôts d'albâtre des sources de la province d'Oran, nous avons été frappé de quelques colorations violettes, ou plutôt fleur de pêcher, qui n'occupaient que de très-petits espaces dans ces albâtres et qui contribuaient encore à leur beauté. Nous avions cru d'abord que cette belle coloration était due à un sel de manganèse, mais depuis lors, nous avons observé dans les eaux de plusieurs bassins une coloration entièrement semblable. Elle était due à une multitude de petits corps sphériques ou ovoïdes que nous avons considérés comme une espèce de Protococcus. Ces petits corps étaient réunis par groupes de plusieurs milliers, et les groupes très-rapprochés couvraient des surfaces de 2 à 10 centimètres. Nous n'avons pu remarquer aucun mouvement dans ces groupes qui se trouvaient entre les mailles d'une Conferve. Le soleil avivait ces

taches violettes qui se développaient en quantité pendant tout le mois d'avril sous l'influence de la chaleur.

Mais si la matière organique des eaux a, de nos jours encore, la puissance de s'organiser et de prendre rang dans l'échelle des créations animales ou végétales, que ne devait pas être cette puissance quand des eaux abondantes s'échappaient de toutes les fissures du sol, amenant, sous d'énormes proportions, cette matière si rare et si peu abondante aujourd'hui. Nous devons supposer qu'à cette époque, si elle ne s'est point transformée elle-même en êtres vivants, elle a du moins puissamment contribué à leur développement. Dans le même temps, les eaux thermales contenaient sans doute, comme aujourd'hui, une certaine quantité de sels à base de soude, et les animaux vivaient dans des eaux plus ou moins alcalines. Cette propriété du liquide, dans lequel les êtres vivants puisaient alors leur existence entière, dut avoir une bien grande influence sur leur développement et sur leur vitalité. Aujourd'hui, la médecine trouve des ressources précieuses dans l'administration des eaux alcalines et surtout de celles où l'on trouve à la fois la soude et la matière organique. L'action chimique qu'exercent les alcalis sur nos liquides et la propriété qu'ils ont de se combiner à la matière organique, doivent nous faire penser que l'énergie vitale était accrue par leur présence.

La matière organique peut avoir sur les eaux une très-grande influence par suite de la facilité avec laquelle elle se transforme en êtres organisés. La couleur, presque toujours d'un beau vert, que présente cette matière dans les eaux minérales est déjà un indice de son action sur les gaz et principalement sur l'acide carbonique contenu dans la plupart des eaux. On lit dans les *Mémoires de l'Académie de Bruxel-*

les (1841) de curieuses observations de MM. A. et Ch. Morren, qui ont soumis des Infusoires verts à l'action de la lumière, soit directe soit diffuse, pendant qu'ils étaient plongés dans l'eau chargée d'acide carbonique. Dans ces conditions la quantité d'oxygène peut s'élever, au maximum, jusqu'à 62 pour cent, tandis que l'acide carbonique diminue. Il n'est pas douteux pour nous que les animalcules verts et les Conferves vertes des eaux minérales, n'agissent à la manière du feuillage des plantes, en fixant le carbone dans leurs tissus et en abandonnant l'oxygène naissant à l'eau qui le dissout. Mais de même qu'il existe dans les animaux supérieurs des êtres diurnes et d'autres qui attendent la nuit pour se mouvoir et chercher leur existence; de même qu'il existe des plantes comme les Fougères, qui décomposent l'acide carbonique sous les plus sombres ombrages des forêts, il existe aussi des Infusoires et probablement des Algues nocturnes. Le passage de la couleur rouge à la couleur verte de certains êtres inférieurs semblerait indiquer ces périodicités dans leur existence. Le révérend Vernon Harcourt a remarqué que des êtres infiniment petits qui coloraient les eaux d'un étang, passaient le matin du vert au rouge, conservaient cette nuance jusqu'à 4 heures de l'après midi, puis passaient au brun pourpre par l'addition du vert au rouge, et enfin reprenaient leur couleur verte pendant la nuit. Le Protococcus nivalis, d'après les observations de M. Schimper au Grimsel, et de MM. Martins et Bravais au Spitzberg, colore les neiges en rouge et d'autres fois en vert, selon les phases plus ou moins avancées de leur développement.

Ainsi, pour ces petits êtres comme pour les végétaux, les mêmes fonctions s'accomplissent avec le vert et avec le rouge

qui est la couleur complémentaire du vert. Il existe en effet un grand nombre de plantes dont le feuillage est rouge, lesquelles respirent comme les autres et sont très-vigoureuses. Telles sont entr'autres les variétés à feuilles pourprées du Hêtre, du Noisetier, du Berberis, certains Géraniums, des Acacias et une grande partie des végétaux de la Nouvelle-Zélande.

Il reste encore de longues études à faire sur les eaux minérales pour connaître toutes les modifications de la matière organique et toutes les réactions que peuvent exercer sur elle et les gaz dissous dans l'eau et les différents principes que ces eaux contiennent.

Aussitôt que la matière organique des eaux devient visible, elle est organisée. Nous en citerons une preuve dans la barrègine de Barrèges, dès qu'on l'aperçoit sous forme de glaire. Cette substance azotée se dépose ordinairement sous forme de gelée; elle est contenue en quantité plus ou moins grande dans les eaux ferrugineuses qui sortent directement des terrains primitifs. « Lorsque, dit Turpin, on examine sous le microscope armé du grossissement d'environ 300 diamètres, de petites portions de cette barrègine, placées entre deux verres, on reconnaît que ce n'est point une matière organique simple, homogène, mais bien un agglomérat composé des parties suivantes :

» 1°. Une sorte de guangue muqueuse, chaotique, formée d'une grande quantité de particules organiques transparentes, sans couleur et sans mouvement monadaire; particules provenant sans doute de nombreux débris ou détriments d'organisations végétales et animales qui ont précédé.

« 2°. Un nombre assez considérable de sporules globuleuses

ou ovoïdes excessivement petites, enveloppées dans le mucus inorganisé de la guangue qui leur sert en même temps d'habitation et de nourriture, et dont quelques-unes sont dans un état de germination plus ou moins avancé. Ces filaments, d'une ténuité extrême, sont blancs, transparents, sans cloisons, non rameux; ils annoncent le début d'une végétation confervoïde sans doute bien connue, et sans doute aussi le commencement de ces longs filaments blancs que M. Longchamps, qui les a vus flottants dans l'eau des bains, compare à de la filasse, et qui plus tard, dans certaines conditions favorables à cette végétation, forment alors, suivant l'expression de l'auteur, de la barrègine verte filamenteuse. » (*Comptes rendus de l'Institut*, t. 2, p. 17.) Il y a dans cette organisation primitive quelque chose d'analogue au commencement des Spongilles. C'est la vie spontanée qui se manifeste dès que la matière organique qui s'est formée dans l'intérieur du globe, reçoit le contact de l'air, cet élément vital sans lequel rien ne peut exister.

M. Filhol a vu dans plusieurs sources, de la glairine noire dans laquelle il a constaté la présence du fer sulfuré hydraté qui se décolorait par l'acide sulfurique très-étendu, et cependant, dit-il, l'eau qui produit cette glairine noire ne paraît pas charrier de sulfure de fer. « Il est cependant probable, ajoute-t-il, qu'elle contient un peu de ce sulfure dissous à la faveur du sulfure alcalin; la matière organique en se précipitant, déterminerait alors la séparation du sulfure de fer. » Nous voyons tous les jours, le fer s'unir aux matières organisées. Les êtres vivants ont d'ailleurs une puissance de sélection des plus remarquables. L'*iode* a été trouvé dans les *Fucus* avant d'être signalé dans l'eau de la mer; les Spongilles du lac Pavin construisent leurs spicules

avec de la silice que l'analyse n'indique pas dans les eaux. Les Pommes de terre, les Betteraves, la Luzerne, la Vigne, contiennent de grandes quantités de potasse puisées dans un sol qui en contient très-peu. Le Froment trouve du phosphore dans des terres où l'analyse peut à peine le signaler, et le soufre des Crucifères n'existe pas tout formé en dehors de leurs tissus. Ces affinités entre la nature morte et les êtres organisés sont des plus frappantes et elles commencent dès la naissance des êtres les plus simples.

Anglada a signalé de la glairine rouge à odeur de violette dans les sources de Thuies, et il fait observer que la glairine de cette couleur se trouve dans des sources dont la température est très-élevée. M. Filhol a lui-même observé une très-grande quantité de glairine d'une couleur rose très-prononcée dans l'une des grottes où coulent quelques sources de l'établissement du Teich à Ax ; il en a trouvé d'un très-beau rouge carmin à Merens (Arriège), dans une source dont la température était de 36°. Cette dernière était composée de petites Monades. Il est facile de conclure de ces observations que la glairine ne s'organise pas toujours de la même manière, qu'elle a une grande tendance à se transformer en êtres organisés et qu'elle doit donner naissance à de véritables générations spontanées.

On ne s'explique pas, dit M. Filhol, pourquoi certaines eaux contiennent de la glairine, quelquefois même en grande quantité, et pourquoi d'autres n'en fournissent que peu ou point ; pourquoi les anciennes sources de Luchon, n'en laissent déposer que de petites quantités tandis qu'on en trouve beaucoup dans les nouvelles.

M. Filhol a fait sur la matière organique des eaux sulfureuses des Pyrénées, des observations précises comme toutes

celles qui appartiennent à ce savant chimiste. Pour mieux étudier ses caractères il la considère sous des états différents : 1°. en dissolution dans l'eau ; 2°. à l'état de suspension ou attachée à la surface des corps qui sont immergés dans la source, et dans ce dernier cas, elle est tantôt organisée et constitue une véritable plante, tantôt dépourvue d'organisation apparente.

La matière organique en dissolution a été reconnue par Anglada comme une matière soluble dans l'eau, mais pouvant devenir insoluble dans l'eau froide ou refroidie. Selon toute apparence cette matière viendrait toute formée de l'intérieur du globe. « Il est très-possible, dit M. Filhol, que la dissolution ait eu lieu dans les entrailles de la terre à une température supérieure à 100 degrés, et qu'elle se sépare ensuite de l'eau pendant son refroidissement au contact de l'air, absolument comme elle se sépare de la dissolution qu'on obtient quand on la fait chauffer avec de l'eau dans le digesteur. »

Les sources les plus chaudes, selon M. Filhol, sont aussi, en général, les plus riches en glairine, sans que l'on puisse reconnaître de relation bien marquée entre la richesse des eaux en sulfure et la proportion de matière organique qu'elles renferment.

Les quantités de matières organiques que laissent échapper les sources des Pyrénées sont considérables. Anglada a essayé de l'évaluer (2e *mémoire*, p. 238), et il est arrivé à ces résultats, que la source d'Arles émet en 24 heures 754 kilogrammes de glairine hydratée, celle d'Escaldas 812 kil. et les eaux de Thuies 2,800 kil. ou le poids d'environ 40 hommes. Il est vrai que ces calculs ne peuvent être rigoureux, car M. Filhol a reconnu que la production de la

matière organique n'est pas constante dans ces eaux. Il n'en est pas moins certain que la quantité de cette matière qui pourrait s'accumuler dans l'espace d'une année, d'un siècle, et à plus forte raison de plusieurs siècles est considérable.

Il était tout naturel en voyant d'aussi grandes quantités de matières sortir du sol, de rechercher l'origine de cette matière, et en cela, ceux qui admettent que les eaux recueillent pendant leur trajet les substances qu'elles contiennent ont été conséquents avec eux-mêmes. Ne pouvant pas trouver la matière animalisée ni dans les granites, ni dans les porphyres, ni dans les ophites, ni dans les calcaires, etc., il a fallu la prendre à l'extérieur. C'est l'hypothèse qu'adopte M. Filhol. « En général, dit-il, les matières organiques tenues en dissolution, soit par les eaux minérales, soit par les eaux potables, sont de nature azotée; quand on les trouve dans des eaux qui coulent à la surface du globe, on ne s'enquiert pas de leur origine; mais quand on les voit faire partie de certaines eaux thermales qui viennent évidemment d'une grande profondeur, on peut se demander d'où elles viennent? Il me semble assez naturel de penser que les eaux minérales ont pris à la surface du sol la matière organique, qu'elles l'ont entraînée dans des profondeurs et la ramènent avec elles à la surface. On expliquerait alors sans peine, pourquoi la source de cette matière semble être intarissable, et pourquoi sa quantité varie dans les mêmes eaux prises à différentes époques. (*Eaux minérales des Pyrénées*, p. 166.)

Nous ne saurions adopter cette hypothèse, car alors la matière organique devrait se trouver dans toutes les sources, minérales ou non, puisque ces dernières résultent surtout des eaux de pluies qui lavent le sol et que la plupart

sont au contraire d'une extrême pureté. Il faudrait aussi admettre que les sources situées au milieu de contrées granitiques comme celles de Carlsbad, de Saint-Nectaire et qui déversent d'énormes quantités de carbonate de chaux, ont acquis ce sel calcaire sur le sol lui-même, et qu'entraînées dans les profondeurs où elles ont acquis leur température, elles sont remontées en ramenant à l'état de bicarbonate le sel calcaire qu'elles ont eu à peine le pouvoir de dissoudre à l'état de sous-carbonate. Et quand les calcaires sont éloignés, et quand ils sont situés à des niveaux inférieurs comme dans les exemples que nous venons de citer, il faut bien consentir à ce que ces dépôts calcaires aient été puisés dans l'intérieur du globe. La matière organique peut être formée de toutes pièces dans ces profonds laboratoires; les bitumes qui sont aussi des produits organiques ont la même origine souterraine. Cela n'est-il pas prouvé par ces énormes quantités de pétrole que produisent maintenant les puits américains?

Nous ne pouvons contester les relations des sources thermales avec l'état d'imbibition des terrains environnants; nous reconnaissons que ces sources sont alimentées par des infiltrations de haut en bas, lesquelles infiltrations, au lieu de s'arrêter à une petite profondeur et de s'échapper par des fissures superficielles, comme dans les sources ordinaires, continuent de descendre et remontent ensuite dans des conditions très-diverses. Mais l'influence de ces terrains imbibés est rarement sensible, si ce n'est quelquefois dans des contrées brisées ou disloquées par de puissants soulèvements.

Ainsi, dans les Alpes, les eaux de Brig-Baden, en Valais, offrent pendant neuf mois de l'année, une température de 34 à 35° et acquièrent tout à coup celle de 45 à 50° lors de la fonte des neiges de la grande cîme de la Yung-

Frau dont les eaux glacées arrosent alors les vastes pâturages qui s'étendent à sa base. Cette abondance d'eau froide devrait refroidir la source; c'est l'inverse qui a lieu, et cela s'explique par le volume plus considérable que la source doit alors acquérir.

On a désigné sous le nom de *sulfuraire* une Algue assez répandue dans les conduites des eaux minérales sulfureuses, laquelle constitue une espèce distincte. Elle paraît due à un développement particulier de la barrègine et n'existe que dans les eaux sulfureuses dont la température n'atteint pas 50°, telles sont du moins les observations de Fontan.

Les recherches de M. Filhol sur cette matière organique des eaux des Pyrénées lui ont démontré l'existence de l'iode dans la sulfuraire et dans la barrègine recueillie à Ax, à Cauterets, à Merens, à Bagnères de Luchon. « Toutes ces substances organiques, dit M. Filhol, sont remarquables par l'énorme proportion de cendres qn'elles fournissent. 1 gramme de barrègine sèche a donné 0,127 de cendres contenant des phosphates et beaucoup de fer. 1 gramme de sulfuraire a fourni 0gr,109 de cendre. Cette cendre était composée des mêmes éléments que la précédente. »

La production de la matière organisée doit donc contribuer à appauvrir l'eau minérale, comme le pense M. Filhol; mais on y voit une preuve de la puissance organisatrice que la nature exerce partout.

Voilà de l'eau qui arrive des profondeurs de la terre où elle a puisé des éléments divers; à peine cette eau peut-elle recevoir le contact de l'air, qu'elle donne naissance à des plantes et à des animaux inférieurs, forme immédiatement une trame de tissus organiques dans lesquels les principes inorganiques de l'eau sont saisis et enchaînés dans une forte

proportion. N'est-ce pas nous permettre d'assister aux ébauches de la création ? Les eaux minérales contiennent tous les éléments nécessaires à la vie, tous ceux qui par leurs combinaisons constituent les tissus et les organes des plantes et des animaux, tous ceux qui à l'état de combinaisons minérales ou d'éléments sont absorbés pendant la vie et font partie, soit des liquides qui circulent dans les êtres vivants, soit des dépôts ou des sécrétions produits par ces mêmes liquides.

La tendance à l'organisation de la matière organique des eaux se manifeste sous l'influence de la lumière et à l'obscurité. M. Fontan cite à ce sujet l'eau de Bade en Suisse.

Il signale dans le petit baquet où coule la buvette de l'hôtel du Stadhoff, une grande quantité d'une substance blanche filamentense, qui n'est autre chose que de la sulfuraire qui est complétement à l'abri de la lumière.

Il indique en même temps deux grandes plaques brunes dans un point où l'eau qui s'échappe est exposée aux rayons du soleil. Ces deux plaques sont formées par une Oscillaire extrêmement ténue de 1/400 environ de millimètre de diamètre.

« Il est très-remarquable, ajoute-t-il, de voir une eau dans laquelle se développe constamment une certaine substance quand elle est à l'abri des rayons solaires, et une autre substance quand elle est frappée par ses rayons. » (*Ann. de chimie et de physique*, t. 74, p. 273, 2e série.)

Il est bien probable qu'à toutes les époques géologiques les eaux minérales ont amené du sein de la terre des matières organiques de différentes natures. Ainsi, la présence de l'azote ou plutôt celle de la matière organique dans un grand nombre de roches et de minéraux, a été mise hors

de doute par M. Delesse. D'après ce savant géologue, la chaux fluatée verte contient 0,008 millièmes d'azote, le quartz enfumé du granite 0,20, l'opale du trachyte 0,30, l'opale des Geysers d'Islande 0,12, la calcédoine du mélaphyre seulement 0,07, la topaze fortement colorée du Brésil 0,22, la baryte sulfatée blanche 0,10. On en trouve jusqu'à 0,15 dans le spath d'Islande le mieux cristallisé. Ces faits viennent appuyer la théorie qui attribue aux eaux minérales la formation de la plupart de ces produits. Il faut dire pourtant que M. Delesse a trouvé aussi de l'azote dans des roches que l'on considère comme évidemment plutoniques, telles que les granites, les porphyres, etc.

Beaucoup de roches et notamment des calcaires et des quartz sont colorés par des substances bitumineuses. Les marbres noirs de la Belgique, la plupart des silex se décolorent complétement par la calcination. C'est à une matière organique et non à du fer qu'il faut rapporter la coloration rouge de certains jaspes, comme l'a prouvé mon savant ami Fournet pour les jaspes de la province de Constantine.

Les arragonites vertes que l'on rencontre sur quelques parties de l'Auvergne doivent leur couleur à des Algues vertes qui ont vécu dans des eaux minérales.

L'arragonite verte a été indiquée aussi par M. de Luca dans le terrain jurassique de Gerfalco en Toscane, et par Marcel de Serres dans le même terrain à San-Carlo de Fiume di-Nisi, dans la province de Messine. Dans ces deux localités, elle se présente en fibres rayonnées formant parfois des couches plus ou moins étendues d'une assez faible épaisseur. Les arragonites des deux localités contiennent de la strontiane et se colorent par l'action de la chaleur. Ce n'est donc pas, comme le pense Marcel de Serres, à de l'oxyde de

cuivre (qui d'ailleurs n'est pas vert), que ces minéraux doivent leur coloration, mais plutôt à des Algues ou à la matière verte des eaux comme les arragonites de Vichy.

Nous avons évité, autant que possible dans notre travail, de nous occuper de l'action thérapeutique des eaux. Nous ne pouvons cependant passer entièrement sous silence les effets que nous attribuons à la matière organique.

L'action des eaux minérales sur l'économie animale a été très-diversement appréciée par les personnes qui se sont adonnées à ce genre d'études. On a successivement préconisé et déprécié ce genre de médicament, et l'on a cru du moins lui rendre toute justice quand on a déduit de son analyse chimique les propriétés médicales qu'il devait offrir. Un grand nombre de médecins distingués n'ont cependant pas cette opinion des eaux thermales ; ils ont vu dans leur pratique des résultats si positifs de leur action, qu'ils n'ont pas hésité de leur reconnaître des propriétés toutes particulières et indépendantes des substances indiquées par l'analyse. D'après tout ce que nous venons de dire de la matière organique des eaux, c'est à elle évidemment qu'il faut rapporter en grande partie l'action parfois si extraordinaire des eaux qui nous occupent. C'est à cette matière qu'il faut attribuer le bien-être qu'on éprouve dans l'eau minérale, la souplesse de la peau, et surtout les forces, l'augmentation de la vie qui semble résulter de ces bains, effets et sensations qui ne se font nullement apercevoir dans les bains ordinaires, mais qui se manifestent cependant déjà avec une certaine énergie dans les bains de mer.

C'est surtout lorsqu'on prend les eaux en boisson que l'on s'aperçoit facilement de l'existence de ce principe que l'on trouve à la source dans toute sa pureté, en puisant au lieu même où elle s'échappe.

Nous sommes entièrement de l'avis de Robiquet, qui, dans ses Recherches sur les eaux de Néris, considère ce principe organique comme étant d'une assimilation très-facile, comme susceptible de se combiner promptement avec nos organes, de les pénétrer, d'y ranimer la vie. Il est, en effet, fort naturel d'admettre qu'une matière capable de s'organiser avec une aussi grande facilité peut s'unir à nos tissus et augmenter leur vitalité.

Cette supposition rend parfaitement raison de l'action réellement très-positive d'un grand nombre d'eaux thermales dans lesquelles l'analyse ne peut rencontrer qu'une très-petite quantité de matières salines ou gazeuses. Telles sont, par exemple, les eaux de Néris, dont l'analyse ne peut nullement justifier les propriétés bien établies. Ainsi que nous l'avons déjà dit, toutes les tentatives faites pour isoler cette matière organique ont été infructueuses; mais nous pensons que l'on pourrait au moins tirer parti de celles de ses combinaisons que nous pouvons recueillir.

Dans la plupart des sources, la matière organique se transforme en une sorte de mucus perceptible à nos sens, et l'on peut suivre parfaitement, à Néris, toutes les phases de sa transformation. Un enduit glaireux s'attache d'abord aux parois des bassins, et, dans le principe, le microscope solaire, muni des plus forts grossissements, n'y laisse apercevoir qu'une sorte de gélatine transparente dans laquelle on ne peut rien distinguer; mais bientôt après, des filaments, presque toujours articulés, se développent au milieu du mucus; ils s'allongent, se ramifient, se multiplient à l'infini et annoncent le commencement d'une véritable organisation. Au bout de quelques jours, ces filaments s'agglomèrent, toujours liés par le mucus, et forment des membranes plus

ou moins étendues qui se colorent en un beau vert et qui s'accroissent rapidement. Des bulles d'air se développent alors au contact de la lumière et souvent dans l'intérieur des membranes; elles les gonflent, les distendent, y restent emprisonnées, et, faisant l'office de flotteurs, elles détachent du fond ces Algues de nouvelle création, lesquelles viennent nager à la surface, quelquefois retenues encore par des espèces de tubes qui descendent jusqu'au fond des bassins.

Dans ces plantes, la matière organique est presque intacte, et elle acquiert un certain degré de stabilité dont on peut profiter pour la recueillir. Elle se décompose assez facilement dès qu'elle est sortie de l'eau; mais on peut la conserver en l'exprimant légèrement et la plaçant dans des vases avec une certaine quantité de sel marin. De cette manière, on peut la faire voyager et la transporter à de grandes distances. Par une ébullition prolongée, cette substance se dissout presque complétement, et il suffit de concentrer la dissolution, d'ajouter du sucre et d'aromatiser, pour obtenir une gelée très-agréable à prendre, très-nutritive, et d'une digestion extrêmement facile. Nous ne doutons pas que la médecine ne puisse un jour retirer de grands avantages de ce nouvel agent thérapeutique. Nous sommes convaincu que la matière organique, qui est essentiellement animalisée, est assimilée d'autant plus facilement qu'elle approche davantage de cet état élémentaire sous lequel elle a été créée pour la nutrition des premiers êtres vivants. Il est impossible de la saisir à un point plus rapproché de son origine.

La matière organique des eaux a aussi, comme nous l'avons dit, une grande tendance à se combiner à des éléments inorganiques. Unie à la soude, elle rend l'eau laiteuse ou verdâtre, comme si elle avait dissous du savon, et ses

propriétés, dans cette circonstance, semblent plutôt augmentées qu'affaiblies. La source de l'Hôpital, à Vichy, en est un exemple. C'est celle qui agit le plus doucement et le plus sûrement, et sa saveur est toute différente de celle des autres. Ailleurs, la matière organique, combinée à la chaux, à la magnésie, et plus souvent entraînée par les sous-carbonates de ces deux bases, se précipite sous forme de poudre blanche ou de concrétions plus ou moins dures qui remplacent avec le plus grand succès toutes les poudres absorbantes que l'on prépare avec ces deux bases, et qui, privées de cette matière organisée, sont plus difficiles à assimiler.

Enfin, on la trouve unie à l'oxyde de fer hydraté, déjà modifiée par le contact de l'air et changée en acides *crénique* ou *apocrénique* qui peuvent former des combinaisons avec cet oxyde de fer et se précipiter sous forme de flocons ocracés qui sont des crénate et apocrénate de fer unis à du carbonate de la même base, comme on le remarque à la source de Jaude, à Clermont, et dans un grand nombre d'autres fontaines minérales.

Un jour viendra sans doute ou l'on reconnaîtra toute l'importance de ce principe des eaux, que nos analyses laissent souvent échapper. On ne basera plus leurs propriétés sur la présence de quelques sels souvent insignifiants; on reconnaîtra, comme le disait le célèbre Bordeu, qu'une sorte de vie particulière est l'apanage des eaux minérales, et que tous nos moyens d'imitation sont bien éloignés des procédés de la nature.

CHAPITRE XXIV.

De la variation dans les eaux minérales. — Variations dans la température.

—

On a cru bien longtemps à la constance de tous les caractères des eaux minérales, comme on a cru à l'invariabilité de l'espèce, à l'immobilité de la terre et des étoiles, à l'éternité des mondes, comme s'il y avait dans l'univers autre chose, après Dieu, que mouvement et progrès.

Cette stabilité des sources n'est qu'apparente ; elle peut se soutenir pendant des siècles, elle peut varier pendant le court espace d'une année ou d'un jour.

Il doit exister sans doute de ces variations séculaires dues à des causes géologiques lentes et permanentes et qui sont d'une appréciation très-difficile, mais le plus ordinairement ces variations sont accidentelles. Elles dépendent des saisons, des accidents météorologiques, de la pression atmosphérique, de l'abondance des pluies, de la durée de la sécheresse, de la chute ou de la fonte des neiges, des gelées prolongées ou du niveau des cours d'eaux voisins.

L'obstruction des points d'émergence par les dépôts des eaux est encore une cause puissante de variation.

D'autres conditions très-différentes influent aussi sur la régularité du débit, sur la température et la composition des eaux ; ce sont celles qui résultent de la durée des périodes géologiques, ou des secousses qu'éprouve la terre dans ses profondeurs.

Nous allons examiner successivement les variations dans la température, les inégalités dans le débit, et les différences dans la composition chimique.

DES VARIATIONS DANS LA TEMPÉRATURE.

On sait aujourd'hui que les eaux minérales peuvent accuser différents degrés de thermalité, bien que l'on n'ait pas encore d'expériences assez précises pour connaître la marche régulière ou irrégulière de ces variations. Des considérations assez nombreuses s'opposent à ces connaissances. D'abord l'imperfection, le défaut de comparaison des thermomètres et le peu de temps qui s'est écoulé depuis que l'on connaît parfaitement la marche et la fabrication de ces instruments. Ensuite la difficulté de s'assurer s'il n'y a pas infiltration d'eaux froides dans les conduits de ces sources. Viennent ensuite les causes locales, telles que le voisinage des volcans, les tremblements de terre, etc.

Nous supposons que les variations de température indiquent en moyenne une diminution lente dans la chaleur des eaux, mais nous avons aussi des essais qui accusent une augmentation. Nous ne pouvons donc pas conclure, par expérience, que la température des eaux diminue ; nous pouvons dire seulement qu'elle n'est pas constante, sans préciser dans quel sens. Il nous manque pour cela des observations simultanées de température et de débit.

M. Boussingault a pu reconnaître que dans le court espace de 33 années, depuis les observations de Humboldt, que la température des sources de Mariana et de Las Trincheras s'est accrue de plusieurs degrés. Il est à remarquer que, pendant l'intervalle qui sépare le voyage de Humboldt

de celui de l'époque à laquelle M. Boussingault visita la chaîne du littoral, Venézuela fut ébranlée par le grand tremblement de terre du 26 mars 1812, dont les secousses détruisirent la ville de Caracas et toutes celles situées dans la Cordilière orientale en faisant périr plus de 30,000 habitants. Nous pourrions citer de nombreux exemples de sources dont la température, le débit et peut-être la composition, ont varié par suite de commotions souterraines, et ces faits ont dû se présenter souvent sur le plateau central, sans que nous ayons pu en recueillir d'autres preuves que le trouble apporté dans le débit des eaux de Néris lors du tremblement de terre de Lisbonne le 1er novembre 1755.

A la même date, les eaux d'Aix en Savoie devinrent froides et déposèrent un sédiment bleuâtre. Ce phénomène dura pendant trois ou quatre jours (Despine.)

Par la même secousse, certaines sources de Luchon acquirent tout à coup une température très-élevée. Le volume des sources de Bourbon-l'Archambault déjà considérable augmenta encore à cette époque, mais leur température diminua.

Lors des secousses qui affligèrent la partie du Valais située au pied du mont Rose, en 1858, les sources minérales de cette contrée (Loësch, Brigt, Saxon, etc.), éprouvèrent des variations momentanées dans la température. On vit jaillir des eaux et des boues thermales sur plusieurs points des hautes vallées du Wipsbach et du Strumbach. Ainsi même le phénomène des salses s'est reproduit momentanément.

Du 19 juillet au 8 août 1854, les Pyrénées furent éprouvées par une série presque non interrompue de secousses horizontales (est-ouest) et verticales. Leur action

fut très-sensible à Bagnères, à Gazost, à Cauterets et à Barrèges.

A Bagnères, dit M. Jules François, la source de Salir se troubla ; à Gazost, il y eut, pendant plusieurs jours, entraînement de matière organique noire, chargée de sulfure de fer. Le même phénomène se remarqua à la source de César à Cauterets ; cette source augmenta de température et de sulfuration, et ramena à elle la presque totalité de l'eau de Bruzande. A Barrèges, le Griffon n° 2 de la galerie de l'est, qui émerge au voisinage du petrosilex chlorité, sa roche congénère, passa de 18° à 28° ; son volume s'accrut de 12,400 à 28,000 litres. (J. François.)

« Il existe, dit Lemaire, derrière la maison du sieur » Jaquotel, au midi du grand bain, une source d'eau » chaude qui était assez froide, il y a environ 75 ans, et » qui n'est devenue chaude que depuis l'horrible tremble- » ment de terre arrivé à Plombières et à Remiremont en » 1682. »

M. Jutier a observé lui-même, dans la nuit du 6 au 7 avril 1859, un tremblement de terre assez violent qui n'a apporté dans les sources aucun changement sensible.

Lors du tremblement de terre qui a détruit la Pointe-à-Pitre, le 8 février 1843, M. Deville a observé deux sources nouvelles à la Guadeloupe. « L'une extrêmement ferrugineuse, l'autre thermale, température 31° 5. Cependant, ajoute M. Deville, il ne serait pas impossible que ces phénomènes fussent dus à des déplacements intérieurs tout superficiels ; et, ce qui semblerait le prouver, c'est qu'aucune des nombreuses sources thermales de la Guadeloupe ne lui a présenté de modifications dans son volume, dans sa température ou dans ses propriétés apparentes. Il en est de

même des jets de vapeur qui se frayent un passage sur divers points du sol, aussi bien au bord de la mer, à Bouillante, qu'aux Fumerolles qui s'échappent des sommités du volcan. » (*Comptes rendus de l'Académie des sciences*, t. 17, p. 1286.)

Le plus ordinairement ces altérations occasionnées par les tremblements de terre dans la température des eaux ne sont que momentanées, et, au bout de quelques semaines, de quelques jours, ou même de quelques heures, la source a repris son cours et sa température ordinaire. Ces modifications viennent parfaitement appuyer l'opinion, du reste incontestable ; que les eaux thermales doivent leur température à la chaleur centrale.

Ces faits sont encore appuyés par les variations de température de l'un des Geysers. Les expériences de MM. Descloizeaux et Bunsen, faites au mois de juillet 1846 sur le grand Geyser d'Islande, leur ont prouvé que la température de la colonne d'eau qui remplit le puits central, varie continuellement dans toute sa hauteur, et que cette température offre un maximum de 127° au fond du puits avant les éruptions, et un minimum de 122° environ après les éruptions. Mais quand on prend la température de la colonne d'eau à des hauteurs diverses au-dessus du fond du puits, on trouve de grandes inégalités de température qui sont quelquefois de plus de 40 degrés (de 127° à 85°). Ces anomalies prouvent la connexion des Geysers avec les foyers volcaniques de l'Islande et l'arrivée de masses d'eau plus ou moins considérables à la fois sur les points où elles acquièrent leur température.

Les émissions voisines des volcans, comme celles des Geysers, sont presque toujours intermittentes ou acci-

dentelles ; elles accompagnent ou suivent fréquemment les éruptions.

Nous citerons celles du Tougairo, à la Nouvelle-Zélande. C'est le volcan de l'île Blanche, dans la baie de l'Abondance. Indépendamment de ses éruptions, il amène à la surface du sol une foule de sources thermales. Ces cours d'eau, pour la plupart intermittents, sortent d'une multitude de bassins cratériformes qui débordent lorsque les feux intérieurs redoublent d'activité. Alors ces chaudières vomissent des ondes bouillantes et se couronnent de vapeurs qui s'élèvent vers les cieux.

Presque tous ces torrents se rendent dans un lac situé dans la direction du nord au sud, ayant un kilomètre de large sur deux kilomètres de long. Les indigènes lui ont donné le nom de mer bouillante, quoique la température ne s'élève pas à plus de 40° centigrades. (*Presse scientifique des Deux-Mondes*, n° 23, p. 651.)

Le journal allemand dans lequel la *Presse* a puisé ce document ajoute : « Comme la température de ce lac ne descend jamais au-dessous de 26°, on n'y trouve ni poissons ni mollusques. » Mais une température de 26° ne peut exclure les êtres vivants, et c'est sans doute à la composition de cette eau et non à sa chaleur qu'il faut attribuer l'exclusion de la vie.

M. de Castelnau a vu dans des eaux thermales de 34 degrés des insectes qu'il reconnut pour une espèce d'Hydrophylle, très-voisine de l'*H. caraboide,* qui habite l'Europe. « On a déjà observé plusieurs fois, dit-il, des animaux de cette classe dans les eaux thermales ; on aurait dû s'attendre à leur trouver des formes appartenant aux types des pays chauds ; le contraire est cependant toujours arrivé, car tous

ceux qui sont dans ce cas ont le facies des espèces européennes. » (Castelnau, *Exp. dans les part. cent. de l'Amérique du sud*, *Hist. du Voyage*, t. 3, p. 346.)

Les variations dans la température des eaux peuvent avoir des causes diverses : elles peuvent être dues, comme nous l'avons déjà dit, à des infiltrations d'eau froide. Ainsi à Plombières, des observations faites, en 1850, par M. Hebert, élève en pharmacie, ont constaté des variations offrant dans certaines sources des écarts qui allaient jusqu'à 10 degrés, et presque partout de 2 à 3 degrés. Ainsi, même pendant la saison des bains, les sources offraient des variations notables de température.

M. Rotureau cite un fait bien curieux complétement opposé à tout ce que l'on sait aujourd'hui sur la chaleur centrale. C'est la température invariable de 18°,5 que présente une des sources de Kissingen, en Bavière, la source du Schonbornsprudel, laquelle jaillit de la profondeur de 696 mètres. Quoique provenant d'un puits foré dans les marnes irisées, le jaillissement de cette source curieuse est tel que, selon M. Rotureau, elle peut s'élever jusqu'à 30 mètres. On s'expliquera cette puissance de jaillissement si, en supposant qu'il n'y ait pas une faute d'impression dans l'ouvrage de M. Rotureau (t. 1, p. 298), la source donne par minute 31 mètres cubes d'eau chassés par 65 mètres cubes d'acide carbonique.

Nous avons rapporté, en parlant de la température des eaux, de curieux exemples de géothermie, c'est-à-dire d'échauffement de la terre par les eaux minérales. Il est bien certain qu'à l'époque où ces intéressants phénomènes avaient lieu, les eaux jouissaient d'une température qu'elles ne possèdent plus, si toutefois elles ne sont pas complète-

ment taries. En général, et malgré quelques exceptions tout opposées, nous pouvons supposer que la chaleur des eaux a diminué. Les eaux chaudes finiront par être froides, et ce refroidissement peut avoir une influence très-marquée sur le séjour de l'homme.

C'est ainsi qu'un grand nombre d'oasis de l'Algérie et de la Tunisie doivent leur origine et leur fertilité, non-seulement à l'abondance, mais surtout à la température des eaux minérales. Desfontaine avait déjà fait remarquer que la fertilité des environs de Gapsa était due à deux sources d'eaux chaudes. M. Guyon dit aussi que « les eaux thermales du sud de Djerid sont aussi multipliées que les oasis qui leur doivent à la fois leur formation et leur fertilité. « La température des eaux des oasis, continue M. Guyon, varie, selon les localités, de 27 à 46°. Ce ne sont que des eaux chaudes sans aucun principe minéral. » Cependant celle de Gapsa renferme par litre 335 milligrammes de sels dont la majeure partie est du chlorure de sodium.

CHAPITRE XXV.

Des variations dans le volume et l'intermittence des sources minérales.

—

DES VARIATIONS DE VOLUME OCCASIONNÉES PAR LA PRÉSENCE DES GAZ.

Ce phénomène considéré d'une manière générale est encore une atteinte à la régularité du régime des eaux. Nous pouvons dès à présent le considérer sous deux points de vue distincts, c'est-à-dire sous le rapport des variations périodiques dans le débit d'une même source, soit au point de vue bien plus large du retour successif des sources dans une même contrée.

Quant au premier mode de ces intermittences, nous pouvons dire qu'il est bien peu de sources minérales dont le débit soit constant. Presque toutes ont des moments d'abondance et des instants de restriction. L'intermittence a lieu surtout dans les sources qui s'échappent du sol accompagnées de gaz qui ne sont pas en dissolution, soit que ces gaz ne puissent se dissoudre dans l'eau, soit que le liquide en ait déjà dissous autant qu'il en peut contenir. La production de vapeurs à une grande profondeur, la pression exercée par le sol, le poids plus ou moins grand de l'atmosphère traversée par des courants électriques ou animée par les orages sont encore des causes d'intermittence.

Presque toutes les fontaines intermittentes donnent lieu

alternativement à de violents dégagements de gaz, puis ensuite à l'épanchement de l'eau qui se trouvait comprimée. Il en est dont les intermittences sont parfaitement réglées. C'est souvent l'acide carbonique qui, comprimant les eaux dans leurs réservoirs souterrains, en arrête le cours et les force d'attendre qu'il se soit dégagé. Il arrive même que des sources non intermittentes prennent ce caractère par suite de travaux exécutés à leur griffon.

Nous avons sur le plateau central plusieurs sources régulièrement intermittentes ; telle est la fontaine du Tambour, près des Martres-de-Veyre, ainsi nommée à cause d'une sorte de roulement souterrain produit par le gaz qui vient s'accumuler dans une cavité intérieure ; telle est celle de Jaude, à Clermont, dont les intermittences sont d'environ six minutes. Des trous de soude percés à Vichy, à Saint-Nectaire et en d'autres localités, en donnant issue aux gaz et aux eaux qui les accompagnent, ont montré dans ces diverses localités, des émissions bruyantes séparées par des intervalles de repos plus ou moins grands.

Les magnifiques sources de Carlsbad et notamment celle du Sprudel offrent ce même phénomène dû au refoulement de l'eau par le gaz qui se dégage.

L'Islande possède, comme on le sait, un grand nombre de ces sources intermittentes dont les plus célèbres sont les Huer ou Geysers de la vallée de Reikum, à deux ou trois kilomètres de la ville de Skalholt. Le jet du grand Geyser s'élève quelquefois à 50 mètres avec un diamètre de 5 mètres. Les intervalles de repos varient entre une demi-heure et une heure. Au reste, le nombre et les éruptions de ces sources sont modifiés par les tremblements de terre et n'offrent rien de cette régularité que l'on a cru longtemps ap-

partenir au débit des sources minérales. Ainsi l'évêque Troil vit les éruptions du grand Geyser se succéder presque toutes les heures et atteindre à peine la hauteur de 30 mètres, tandis qu'à l'époque où Ohlsen visita les mêmes lieux, elles étaient bien moins fréquentes ; elles n'avaient lieu que toutes les 6 heures, mais l'eau plus fortement comprimée s'élevait par la détente du gaz à la hauteur de 68 mètres.

A Hamburg, la source de Louis a été obtenue par un sondage à 47 mètres de profondeur et elle fournit 100,000 litres d'eau par 24 heures. La source de l'Empereur, dans la même localité, jaillit aussi d'une profondeur de 135 mètres. Elle présente, dit M. Rotureau, un phénomène particulier d'où lui vient le nom de *Sprudel*. « Une sorte d'effervescence s'empare de l'eau par intervalles, et la lance à une telle hauteur que des gouttes vont tomber en dehors du bassin. Les intermittences se reproduisaient à peu près toutes les heures, à l'époque où cette source a été découverte. Elles ont aujourd'hui cessé d'être périodiques, et il serait impossible d'indiquer, même approximativement, les instants de leur retour. »

Les eaux de la source de Soolensprudel, près de Kissingen en Bavière offrent encore de très-curieux phénomènes d'intermittence. Ce sont des eaux dont la température est de 18° et dont chaque litre contient 11 grammes 1/2 de chlorure de sodium, près de 3 grammes de chlorure de magnésium, presqu'autant de sulfate de soude et en somme, près de 20 grammes de matières fixes.

« Après une durée que l'on peut calculer d'avance, dit M. Rotureau, les bouillonnements du Soolensprudel deviennent moins forts, et son jet s'abaisse progressivement pour se supprimer tout à fait. Ces intermittences sont en général

de 17 à 24 minutes. Après ce temps, l'eau s'agite, bouillonne de nouveau, mais très-doucement d'abord, et il lui faut de 30 à 40 minutes pour atteindre la hauteur maximum de son jet.

» Ces intermittences périodiques existent depuis les premiers moments de l'apparition de cette source. Ce phénomène observé avec soin pendant les six années dernières, a appris que le nombre des intermittences est de 857 par année, que le niveau de l'eau s'abaisse pendant 3,521 heures et qu'il est à sa hauteur ordinaire pendant 5,239 heures.

» Les observations qui ont été faites sur les intermittences de cette source, conduisent à ce résultat, que la période de repos, pendant 24 heures est de 8 heures 3 minutes 1/2, et que, quelque nombreuses que soient les intermittences, cette source donne invariablement la même quantité d'eau.

DES VARIATIONS DE DÉBIT OCCASIONNÉES PAR LA PRESSION ATMOSPHÉRIQUE.

« Des expériences de 14 mois, faites sur le puits Brosson (source du Parc), à Vichy, par MM. H. Batillat et J. François, leur ont indiqué que le débit de l'eau varie en sens inverse de celui de l'acide carbonique. Ce débit croît ou s'affaiblit, suivant que le baromètre monte ou descend. L'augmentation est, toutes choses égales d'ailleurs, plus sensible par les vents du nord et du nord-est, plus réduite par les vents du sud-est, sud et sud-ouest. Par un temps serein, le régime de la source est plus réglé; les intermittences, le débit de l'eau et le dégagement du gaz plus réguliers que par un temps couvert. »

M. Filhol a remarqué aussi l'influence de la pression ba-

rométrique sur les eaux sulfureuses des Pyrénées, et il a résumé ses longues observations dans les lignes suivantes :

« 1°. Dans les variations et les oscillations régulières, non tourmentées, du baromètre, le titre sulfhydrométrique varie dans le sens de la pression. Les oscillations du titre sulfhydrométrique sont consécutives de celles du baromètre.

» 2°. Les vents du nord, nord-est et est élèvent le titre. Ceux du sud-est, sud, sud-ouest et ouest l'abaissent. Ce dernier effet est également produit par les bourrasques et les ouragans, qui, dans les Pyrénées du moins, concordent le plus souvent avec les minima de la période barométrique diurne. Un temps orageux déprime également le titre sulfhydrométrique, quelquefois fait blanchir l'eau (Luchon, Allevard.)

» 3°. Un ciel serein élève le titre, qui s'abaisse par un ciel nuageux, par l'apparition d'un brouillard. L'effet sur le titre est consécutif; il se manifeste environ une heure à une heure et quart après la cause, et atteint rapidement son maximum qui, pour certaines sources (Bayen, la Reine), s'élève jusqu'à 12 à 15 pour 100 du titre le plus élevé.

» 4°. Les sources les plus élevées en température, celles qui sont les plus altérables au contact de l'air, toutes circonstances de température égales d'ailleurs, sont aussi celles qui éprouvent le plus rapidement et de la manière la plus marquée l'effet des phénomènes extérieurs. »

Presque toutes les sources de Nauheim, dans la Hesse électorale, ont été obtenues par des sondages qui datent de 1816. Ce sont des sources fortement salées, contenant jusqu'à 35 pour 100 de chlorure de sodium.

Une de ces sources, le Grosser Sprudel, forme une pyramide blanche comme la neige de 3^{m} 33 d'élévation et re-

tombe en pluie dans son bassin. M. Rotureau auquel nous empruntons ces détails, dit que cette source jaillit de la profondeur de 73 mètres et cite les circonstances singulières de son apparition.

« Dans la nuit du 21 au 22 décembre 1846 s'éleva un violent ouragan ; le baromètre descendit extrêmement bas, et un torrent impétueux d'eau salée, saturée d'acide carbonique, rompant tout à coup la base d'un forage depuis longtemps abandonnée forma au-dessus du sol une pyramide liquide blanche et perlée de plus de 2 mètres de hauteur, et inonda d'eau chaude tous les environs. »

L'ascension des eaux minérales ainsi que les phénomènes d'intermittence que l'on remarque dans plusieurs sources, sont presque toujours dus à des dégagements de gaz et surtout à l'acide carbonique. On sait, en effet, que ce dernier jouit d'une force expansive considérable, plus considérable que celle de l'air, à tel point qu'à la température de 29 à 30°, elle atteint dans l'eau qui en est saturée une puissance capable de faire opposition à trois atmosphères. Il est donc facile de comprendre comment l'eau comprimée s'échappe, dès qu'une ouverture naturelle ou artificielle se présente. On n'a pas besoin de rechercher une cause hydrostatique, ni de s'enquérir des niveaux dont les eaux qui alimentent la source sont parties, le gaz suffit pour faire jaillir l'eau du sol, comme il suffit pour faire sortir promptement le liquide d'une bouteille dans laquelle il était comprimé.

Cette lutte continuelle et en sens contraire de la pression du gaz et de celle de l'atmosphère, établit nécessairement des variations dans l'émission des sources, selon que l'atmosphère comprime plus ou moins l'eau ascendante et fait obs-

tacle à son débit. On ne doit pas s'étonner des variations de volume et d'effervescence que présentent certaines sources, et qui sont accusées par le baromètre. Il est certain que si la pression diminue, les sources doivent arriver plus facilement à la surface.

Si tout à coup la pression atmosphérique pouvait être supprimée, nous verrions presque toutes les sources minérales jaillir avec impétuosité, et il est certain que des sources inconnues dont les efforts sont impuissants contre la pression de l'atmosphère et dont les eaux se perdent dans le sol, jailliraient tout à coup avec le gaz qui les porterait à la surface.

VARIATIONS DE VOLUME OCCASIONNÉES PAR LA PRESSION HYDROSTATIQUE D'UN COURS D'EAU.

La quantité d'eau que donnent les sources de Bruckbad, en Hongrie, lesquelles sont au nombre de cinq, est évaluée de 3,000 à 5,000 mètres cubes par heure (Rotureau, t. 1, p. 519). Nous supposons une erreur d'impression, car près de là les sources du Blocksbad sont indiquées comme fournissant 2,500 à 3,000 mètres cubes par 24 heures. Cette dernière source, qui est unique, a cela de particulier, que, si les eaux du Danube sont hautes, elle peut donner, dans le même temps de 4,000 à 4,500 mètres cubes. Si même le Danube reste pendant longtemps à une grande hauteur, la Blocksbad-Quelle peut fournir jusqu'à 7,000 mètres cubes d'eau en 24 heures.

L'expérience a démontré, ajoute M. Rotureau, auquel nous empruntons ces détails, que c'est la pression hydrostatique seule qui explique le débit de la source, et non une communication directe entre son eau et celle du fleuve.

DES VARIATIONS DE VOLUME OCCASIONNÉES PAR LES SECOUSSES DES TREMBLEMENTS DE TERRE.

Le débit des sources minérales subit surtout de curieuses intermittences par les secousses de tremblements de terre. On en a recueilli de nombreux exemples dont nous citerons seulement quelques-uns.

Ainsi en janvier 1840, les sources de la Reine et de Salies, à Bagnères, diminuèrent de 2° 1/2; leur débit s'accrut notablement; ces deux sources charrièrent pendant deux jours un limon ferrugineux (J. François).

Le 26 juillet 1805, les eaux de Carlsbad disparurent pendant plusieurs heures, au moment du tremblement de terre d'Icernina.

En 1809, le Sprudel et les autres sources de Carlsbad éprouvèrent de nombreuses altérations. Le Schlossbrunn disparut tout à fait pour se représenter en 1823, mais avec un changement de température.

Le 1er novembre 1755, entre trois et quatre heures du soir, à Bourbon-l'Archambault, le volume de la source a augmenté au point de déborder par-dessus les margelles du puits et d'inonder la ville. La chaleur de l'eau s'accrut singulièrement; l'eau devint d'une couleur ardoisée trouble, d'une saveur âcre et savonneuse. La source ne revint à son état ordinaire que le 4 novembre.

Le même jour encore 1er novembre 1755, entre onze heures et midi, les eaux de la source principale à Teplitz, en Bohême, devinrent troubles d'abord, ensuite d'une couleur noire jaunâtre et fort épaisses; elles cessèrent complétement de couler pendant plusieurs minutes, après quoi

elles jaillirent avec une si grande violence, qu'elles débordèrent au-dessus du bassin ; l'eau avait d'abord une couleur jaune-rougeâtre, mais, après une demi-heure, elle reprit sa transparence ordinaire. Ce tremblement de terre occasionna un mouvement extraordinaire dans un grand nombre d'eaux minérales. (*Transactions philosophiques de Londres*, année 1755, t. XLIX.)

Le Strok, l'un des deux grands Geysers d'Islande, ne date que de l'époque du tremblement de terre de 1784. « Ce tremblement de terre, disent les *Mémoires de la Société littéraire irlandaise*, t. 14, fut la cause que des anciennes fontaines bouillantes disparurent et que de nouvelles parurent en d'autres endroits. »

D'autres sources doivent aussi naissance au même phénomène. La découverte de celle d'Allevard se rapporte au tremblement de terre de 1791.

Les eaux de Cannstatt dans le Wurtemberg dont les sources sont si nombreuses et si volumineuses doivent, en grande partie, leur origine au tremblement de terre qui détruisit Lisbonne en 1755, et, depuis cette époque, elles n'ont pas cessé de couler en abondance.

Le 1er novembre 1755, vers onze heures du matin (à peu près deux heures après les secousses qui détruisirent Lisbonne), il surgit à Néris une nouvelle source sous la forme d'une colonne d'eau de 3 à 4 mètres de hauteur et qui se soutint pendant quelques secondes. Le volume des eaux dans le bassin thermal fut prodigieusement augmenté; elles se troublèrent, prirent une couleur laiteuse. Les fondements du puits, dit de César, furent emportés, et la nouvelle source se creusa, au pied de l'ancienne, un bassin plus vaste et plus profond. (Boirot Desserviers.)

DES VARIATIONS DANS LE VOLUME OCCASIONNÉES PAR DES OBSTRUCTIONS.

Les variations dans le débit de plusieurs sources minérales sont dues à des incrustations qui obstruent les griffons ou au moins diminuent leur orifice à tel point que l'eau est obligée de chercher une autre issue, c'est ce que M. François a très-bien observé à Vichy. « Au commencement du siècle (1808), la Grande-Grille débitait 17,000 litres à 41°; en 1809, Berthier et Puvis n'y trouvèrent que 15,0.0 à 40°. En 1829, le débit n'était plus que de 12,000 à 37° 1|2. Enfin de 1843 à 1853, le volume s'abaissa de 4,200 à 3,400, pendant que la température se réduisait de 34°,30 à 33° 65. » (François et Bouquet.)

L'incrustation progressive de la cheminée de cette source avait déterminé cette altération du régime. En effet, dans l'hiver 1853-1854, en fouillant les abords, M. François a mis à découvert, au milieu d'une couche de sable ferrugineux, « une colonne de travertin (arragonite), au sein de laquelle s'élevait la Grande-Grille et formée par cette source. Le simple recépage de cette colonne ramena le débit à 68,000 litres et la température à 41° 80. L'œil de la cheminée s'était spontanément réduit à 2 1|2 centimètres carrés. »

« Le puits carré s'élevait par une cheminée maçonnée de 8,600 centimètres carrés de section. Les travaux de dégagement de cette source (1846) mirent à découvert, en travers de cette cheminée, un diaphragme de travertin de 0m 40 d'épaisseur moyenne, au centre duquel la source n'avait conservé que deux passages étroits, n'ayant ensem-

ble pas plus de 9 centimètres carrés d'ouverture. (J. François et Batillat.)

Les dépôts ferrugineux peuvent aussi assez souvent obstruer les sources, et nous trouvons en Auvergne des couches très-étendues d'un poudingue ferrugineux qui rend le terrain entièrement imperméable, et qui, à une certaine élévation au-dessus de l'Allier, s'étend sur un très-grand espace.

L'obstruction des sources par leurs propres dépôts qui a eu lieu si souvent au Auvergne, se présente de nos jours encore sur les points d'émergence de plusieurs sources minérales. Nous devons citer surtout les sources de Carlsbad recouvertes d'une couche calcaire plus ou moins épaisse sous laquelle l'acide carbonique emprisonné occasionne assez souvent de bruyantes ruptures.

« Ces ruptures, dit M. Rotureau, jettent toujours un trouble, non durable il est vrai, quoique souvent assez long, dans le lieu d'apparition et dans la température de l'eau. Des recherches historiques sur leur nombre, sur leur durée, ont été faites par le docteur J. de Carro (*Vingt-huit ans d'observation et d'expérience à Karlsbad,* 1853), qui pense qu'elles ont eu lieu une dizaine de fois depuis le temps où l'on a recueilli des renseignements précis sur les observations faites à Carlsbad. »

« Depuis 1831, pour éviter les explosions qui enlèvent, dans une plus ou moins grande étendue, la croûte du Sprudel ou des sources voisines, la municipalité a décidé qu'au renouvellement de chaque saison on enlèverait les incrustations dont la formation continue finirait par obstruer l'ouverture des sources. Antérieurement à cette sage précaution, le gaz acide carbonique emprisonné dans le bassin inférieur

ne trouvant plus un orifice de sortie en proportion avec la quantité fournie par la source, s'accumulait progressivement et finissait par acquérir la concentration suffisante pour faire éclater l'obstacle qui le recouvrait. C'est par ces ouvertures dites de *précaution*, pratiquées ordinairement au nombre de trois sur les pétrifications du milieu de la Tœpel, que sort, en jaillissant à un ou deux mètres de hauteur, une eau thermo-minérale qu'emporte le cours de la rivière. »

Ces trous de précaution émettent le trop-plein de la source du Sprudel et sont percés sur le bord de la rivière dans une pierre jaunâtre dont la température est constamment élevée par la chaleur de l'eau. Des Conferves se plaisent autour de ces ouvertures brûlantes.

Nous pourrions citer en Auvergne un grand nombre de sources qui ont bouché leur orifice et qui ont entièrement disparu. C'est aussi ce que l'on observe en Italie, en Allemagne, en Algérie et dans toutes les contrées où les sources calcarifères sont abondantes.

Santi rapporte (*Voyage au Montamiata*) que les sources de Saint-Philippe sortaient autrefois au pied du mont Zoccolino; « et comme par la suite des temps elles se sont fermé elles-mêmes le passage par leurs sédiments, elles ont changé d'issue d'un lieu à l'autre jusqu'à l'endroit des bains d'où elles sortent aujourd'hui, jusqu'à ce que la même cause les oblige à changer encore leur cours, ou à se perdre totalement et à disparaître. »

Autour du Bagno di Vignone, dans le Siennois, on rencontre, comme à Vichy et sur les bords de la Limagne, de grandes masses de travertin dans des lieux où il n'y a plus de traces d'eaux minérales.

Ces exemples d'interruption nous conduisent tout natu-

rellement à dire quelques mots des intermittences à longues périodes, dont on ne peut contester la réalité dans quelques parties du globe.

DES INTERMITTENCES A LONGUES PÉRIODES.

Les intermittences à longs intervalles sont un des phénomènes les plus importants de la géologie, et nulle part, peut-être, nous n'en trouvons des preuves plus concluantes et plus intéressantes à la fois que dans la Limagne d'Auvergne. Mais ici, il faut distinguer encore les intermittences véritables des causes qui peuvent en produire les apparences. Ainsi, sur un grand nombre de points des bords de la Limagne, on remarque des couches d'argiles sableuses au milieu desquelles se trouvent de petits lits subordonnés de calcaire, lesquels sont successivement reproduits à des hauteurs différentes. On pourrait conclure de cette disposition que les émissions du liquide calcarifère ont eu lieu à des intervalles plus ou moins grands. Il est bien plus probable que ces sources appartiennent à une seule période et qu'il n'y a jamais eu discontinuité dans leur débit. Seulement le dépôt des sédiments mécaniques qui s'opérait en même temps, a dû, à certaines époques, se développer au point de masquer la sédimentation calcaire, tandis que dans d'autres circonstances, cette sédimentation chimique, dégagée de la concurrence des détritus apportés par les cours d'eau, se présentait pure et presque indépendante. Selon la prédominance de l'une ou de l'autre de ces deux actions, les argiles sableuses ou les calcaires ont imprimé leur caractère à ces diverses couches superposées, et si l'action mécanique a pu s'arrêter pendant quelques instants, il n'en a pas été

de même de l'action chimique qui n'a jamais été interrompue, mais qui souvent a été masquée par la sédimentation des argiles.

Nous avons toutefois en Auvergne bon nombre de faits qui prouvent une longue et véritable intermittence dans l'apparition des sources minérales. Tous les géologues qui ont étudié cette contrée ont vu avec étonnement, à Gergovia surtout, l'alternance des assises calcaires et des basaltes. Ceux qui ont pu, comme nous, étendre leurs investigations, ont retrouvé cette alternance sur plusieurs autres points. Il ne peut donc rester aucun doute sur cette succession de couches tertiaires et basaltiques. D'un autre côté, la superposition du basalte au terrain tertiaire est tellement évidente, qu'il faut accepter un ordre chronologique précis, et reconnaître que le basalte est postérieur au calcaire.

Les sources calcarifères qui ont donné naissance aux calcaires marneux du bassin de l'Auvergne étaient presque taries ou ne fournissaient plus que des dépôts insignifiants quand les basaltes commencèrent à s'épancher. Mais la période basaltique a dû être extrêmement longue, car elle empiète déjà sur celle des trachytes qui l'a précédée, et elle continue jusqu'à l'époque des volcans modernes à laquelle elle se rattache d'une manière évidente. Ces basaltes se sont montrés sur la majeure partie de l'Auvergne, se faisant jour, soit au milieu des assises tertiaires de la Limagne, soit sur les bords mêmes de ce vaste bassin, soit enfin sur le sol primitif de toute la contrée.

J'ai relevé sur ma carte géologique plus de mille points éruptifs de basalte; j'ai signalé un grand nombre de localités où cette roche semble faire saillie sans avoir pu percer les calcaires complétement et venir au jour. Enfin on sait

par les oscillations du pendule que, près de Clermont, à Opme, sur un point tout entouré de basaltes, se trouve une de ces inégalités ou amas de matières qui font que la terre ne peut être considérée comme un sphéroïde régulier.

On ne peut guère douter que l'accumulation de matières minérales, que des études géodésiques ont fait remarquer à Opme, ne soit due à du basalte, dont une partie s'est épanchée en larges nappes dans tous les environs.

On peut donc considérer l'Auvergne comme ayant éprouvé, après la formation des terrains tertiaires, une véritable éruption pustuleuse de cônes basaltiques. Un grand nombre de ces points éruptifs se présentent sous la forme de pics, de dykes ou même de simples filons et restent en saillies scoriacées ou formées de prismes convergents. D'autres ont fourni de vastes coulées qui se sont épanchées dans les anciennes vallées, mais dont on retrouve le point d'émission à une certaine distance.

Une des conséquences de cette grande éruption a été de briser le sol préexistant et de ramener les causes qui déterminaient la formation du terrain tertiaire, c'est-à-dire de rappeler les sources minérales dont les émissions abondantes avaient créé les dépôts calcaires et siliceux de la Limagne.

Pendant la première période de dépôt tertiaire, aucune cause troublante n'est venue déranger l'uniformité de composition du dépôt. C'étaient toujours des calcaires qui formaient des couches superposées, un peu de silice qui se séparait en nodules de ménilithe, et des argiles amenées mécaniquement par les torrents tributaires du grand lac ou du Léman de l'Auvergne.

Dans la seconde période, dans cette recrudescence déterminée par la sortie des basaltes et par la réapparition des

sources minérales, les phénomènes d'action et de réaction des eaux minérales se sont compliqués d'un élément nouveau, le basalte, qui ne pouvait figurer à l'époque tertiaire.

L'étude de ces terrains mixtes devient alors plus intéressante. Des assises calcaires ont été formées de nouveau ; de là ces réactions des eaux minérales sur les basaltes, et l'apparition de ces substances minérales désignées sous les noms de nontronite, collyrite, halloisite, etc., dont plusieurs ne sont peut-être que des mélanges et non des combinaisons en proportions définies.

Les éruptions basaltiques à travers les terrains primitifs ont préparé les issues à des sources plus souvent silicifères que calcarifères. Des amas de meulières, constituant plus souvent des monticules, existent à proximité des pics éruptifs de basalte.

L'hydrate de fer a toujours accompagné ce dépôt. Ce minerai a été produit en abondance autour des masses siliceuses ; il en remplit les cavités, mais il n'offre jamais la forme granulaire ou pisolotique des minerais des terrains plus anciens.

Le gypse a été intercalé, à cette même époque basaltique, dans les brèches et les pépérites qui avoisinent ou entourent les basaltes.

Ce minéral existait déjà dans le terrain tertiaire de l'Auvergne, mais en petite quantité.

Les sources antérieures à l'apparition du basalte étaient essentiellement calcarifères, silicifères, gypsifères et ferrifères.

C'est à la complication chimique de ces sources que sont dues les innombrables variétés de tufs ou pépérites qui en-

veloppent les basaltes ou qui se sont épanchés autour d'eux. Les fragments de roches des terrains traversés, en partie brisés par la force éruptive, ont été mêlés au fer, à la silice, au calcaire et aux débris de basalte pour former ces roches hétérogènes dans lesquelles on rencontre encore des zéolithes, des arragonites et des opales impures diversement colorées.

Ces faits nous montrent partout l'action de l'eau dans les formations volcaniques, non de l'eau agissant mécaniquement, comme dans la création des sédiments, mais l'action de l'eau *surchauffée*, agissant avec toute l'énergie que lui donnent la température et la pression réunies.

M. Pomel, qui a étudié avec une sagacité remarquable la géologie de l'Auvergne, admet aussi ces intermittences ou plutôt ces réapparitions des sources thermales, pendant lesquelles la vie végétale et la vie animale ont pu se développer. Il en cite un exemple aux environs d'Issoire.

« Le calcaire coquiller noir de la Tour de Boulade et du Puy du Teiller, renferme, dit-il, une quantité souvent prodigieuse d'ossements de petits animaux et surtout de reptiles batraciens, qu'il est très-difficile de conserver intacts. Les esquilles y sont très-nombreuses ; celles des ossements un peu gros présentent des traces évidentes de la dent des petits carnassiers. Les squelettes sont presque toujours désarticulés, et les pièces brisées ou intactes, gisent sans ordre les unes à côté des autres et se mêlent à des débris d'espèces très-variées ; les carapaces même des tortues ont leurs différentes plaques séparées ; ce qui prouve que les animaux ont longtemps macéré avant d'être recouverts par les débris de végétaux sous lesquels on les retrouve. Rien ne peut faire supposer que leur accumulation soit due à un

transport quelconque; car, malgré le peu de solidité et de volume des ossements d'espèces si petites, on retrouve les arêtes et les apophyses les plus grêles parfaitement conservées. On ne saurait d'ailleurs comment un tel charriage aurait pu se faire sans que des limons aient été entraînés et déposés avec les ossements, et que sur une étendue d'une lieue qu'a le dépôt tourbeux, il n'y ait pas de variations dans l'épaisseur, la quantité de fossiles et les caractères de composition.

» La position des débris organisés entre deux couches, et non dans les couches mêmes, à quelques exceptions près, prouve qu'ils ont été déposés dans un moment où il ne se faisait aucun sédiment. Les êtres auxquels ils ont appartenu devaient même, pour la plupart, vivre sur les lieux où nous les trouvons, et comme leurs analogues de la génération actuelle, sous des eaux peu profondes, peut-être même dans de grandes mares, entourées de terrain bas et marécageux : en effet, on ne pourrait expliquer autrement certains faits, tels que la réunion d'un grand nombre d'œufs de tortues dans une disposition exactement semblable à celle des nids de ces animaux ; l'existence de coprolithes parfaitement conservés au milieu même du bassin, la prodigieuse quantité et la belle conservation sur certains points très-peu étendus, de feuilles de grands végétaux arborescents, qui n'ont pu vivre dans un endroit très-éloigné, et enfin l'extrême division des couches et leur variation de composition à de petites distances. »

M. Pomel conclut de là aux intermittences des sources et présume que c'est pendant l'une de ces intermittences que les végétaux ont pu croître et les animaux vivre dans une

eau qui n'était plus viciée par l'acide carbonique, jusqu'à ce que de nouveaux dégagements, amenant avec eux de nouvelles molécules sédimentaires, les forcaient de nouveau à disparaître.

CHAPITRE XXVI.

Changements dans la composition des eaux minérales.

—

Nous avons déjà combattu en parlant de la thermalité les idées de stabilité dans les caractères des eaux minérales. Nous avons vu aussi dans les paragraphes précédents, des preuves nombreuses des changements qui s'opèrent, soit pendant le trajet et le contact des roches, soit par le temps qui déplace à la longue la surface d'action chimique où se produisent les eaux minérales. Si nous revenons encore sur ce sujet, c'est à cause de l'importance que nous attachons à ce phénomène. En accordant aux eaux minérales une action prépondérante dans la formation des filons et dans les dépôts chimiques qui ont accompagné toutes les sédimentations, nous acceptons d'avance toutes les modifications nécessitées par ces grandes actions.

Pallas cite des exemples de ces changements de composition dans des lacs de la Sibérie alimentés par des sources, et entr'autres le grand lac Tchoubarat dont les eaux autrefois douces et poissonneuses, sont devenues salées. (*Voyages*, t. 2, p. 507.) Il cite encore les deux lacs Tcherdakli « qui ne sont séparés que par une langue de terre large de huit brasses, où passe la route. Celui qui est au sud ou à la droite du chemin a trois verstes de long de l'est à l'ouest, sur deux cents brasses de large; son fond est vaseux et ses rives dégarnies de bois; sa muire porte l'hydromètre au de-

gré de saturation. Elle contient beaucoup d'excellent sel de Glauber, semblable à celui appelé sel de Sibérie, dont on fait usage dans les pharmacies de l'empire, et au sel amer des autres lacs et mares salés des landes Disetski, Disehimi et de Barabinski. J'ai retiré d'une livre de muire près d'un quarteron de sel amer. On prétend que ce lac donnait autrefois du sel marin, ce qui n'est pas probable ; à moins qu'il ne soit survenu de grands changements dans les sources salines cachées qui lui fournissent ses eaux. Il ne s'y dépose aujourd'hui que le sel amer dont je viens de parler. » (*Voyages*, t. 2, p. 509.)

Il résulte des expériences de MM. Jutier et Lefort sur les eaux de Plombières, que les gaz spontanés des sources n'ont pas une composition constante. « La quantité d'acide carbonique varie de 0 jusqu'à 1,5 pour 100 ; celle de l'oxygène de 2 à 3 pour 100 ; différences qui dépassent la limite des erreurs possibles dans les observations. D'où l'on conclut que la composition du gaz spontanément émis par une même source offre d'un moment à l'autre des différences marquées. Néanmoins, si l'on prend les moyennes des expériences, on découvre que la composition du gaz est en rapport avec la température, et par conséquent avec la minéralisation des sources. » (*Etudes sur Plombières*, p. 154.) Un peu plus loin (p. 160), les mêmes auteurs disent que la quantité d'oxygène varie de 1 à 19 pour 100 et que sa proportion augmente à mesure que la température des sources thermales diminue. La quantité d'azote varie en sens inverse et s'abaisse dans les mêmes conditions de 98 à 81 pour 100.

On sait bien que les quantités de gaz qui s'échappent des sources minérales varient beaucoup selon la pression atmos-

phérique, et sont aussi en rapport avec les phénomènes électriques de l'atmosphère, mais nous ne pensons pas que ces causes puissent modifier leur composition.

Nous ne pouvons douter en Auvergne des changements survenus dans la composition des eaux minérales. Nous voyons autour de Billom et de Vic-le-Comte, des amas de silice et des masses puissantes de travertins calcaires et siliceux qui nous prouvent que les eaux qui les ont formées ont changé de composition comme celles de Saint-Alyre que nous avons citées. Les eaux de Vichy, qui autrefois faisaient des arragonites aux Célestins, ne produisent plus que du calcaire; celles du Puy de la Poix, près de Clermont, ne concrétionnent plus la silice en rosaces élégantes, et celles du Pont-du-Château qui déposaient dans les fissures des pépérites, du bitume et de charmantes calcédoines sont tout à fait taries.

Celles qui par dépôt ou plutôt par une série de réactions, préparaient au Puy de Marman et à la Tour de Boulade ces magnifiques géodes de mésotype ne laissent plus soupçonner la moindre émission.

Celles du Mont-Dore ne font plus de silice; celles de Clermont qui ont silicifié des roseaux, ne nous apportent plus que du fer hydroxydé.

A Gergovia des résinites de toute beauté ont été créés par des sources dont les traces mêmes sont perdues.

Au Puy de Mur, la fontaine de Saint-Marcel existe encore, mais auprès du dépôt qu'elle a formé, elle ne donne plus que de l'eau douce et à peine minéralisée.

Nous pourrions réunir ici un très-grand nombre d'exemples pour appuyer cette opinion de l'instabilité dans le régime des sources, opinion partagée du reste, par les sa-

vants qui se sont le plus occupé des eaux minérales et notamment par M. Daubrée. (*Bull. de la Soc. géol.*, 2e série, t. 16, p. 576.)

Le déplacement des sources par suite de l'obstruction complète de leur issue peut aussi modifier leur régime et même leur composition par des différences de pression ; c'est ce que l'on voit dans presque tous les pays.

La composition des eaux est probablement aussi variable que leur température, et d'ici à quelques siècles, en prenant pour base les belles analyses faites pendant ces dernières années, on sera fixé sur le degré de variabilité de plusieurs sources. Il en est du reste qui varient dans un espace de temps très-court, et l'on peut s'assurer du fait en constatant à de courts intervalles le total des principes fixes d'un litre d'eau. C'est ce qu'a fait M. Gueymard pour les eaux d'Oriol (Isère). Il a constaté depuis janvier jusqu'en septembre 1841, des différences qui sont de 1,285 en janvier jusqu'à 1,475 en juin. La plus grande richesse des eaux correspondrait aux mois de juin, mai, avril et septembre.

Les eaux sulfureuses plus que les autres encore semblent soumises à des lois de variation qui ne sont pas encore bien déterminées. Nous devons cependant rapporter à ce sujet la conclusion qu'un savant chimiste, M. Filhol, a tirées de ses nombreuses observations à Bagnères-de-Luchon.

« 1°. Le degré sulfhydrométrique de chaque source n'est pas constant ; l'étendue des oscillations que présente la richesse de l'eau varie avec chaque source ; elle est considérable pour quelques-unes d'entr'elles. »

« 2°. Les variations accusées par le sulphydromètre semblent se lier, en général, d'une manière assez nette à celle du baromètre, de telle sorte que la richesse des sources croît,

quand le baromètre monte régulièrement, pendant plusieurs jours et décroît pendant qu'il descend. »

« 3°. La sulfuration des sources paraît varier avec les saisons, et les sources semblent être plus sulfureuses dans les temps froids que dans les temps chauds. »

« 4°. La richesse de certaines sources éprouve des changements notables à l'époque des grandes fontes de neige, ou lorsque le niveau de l'eau froide est plus élevé que de coutume. »

La température des sources et la nature de leurs dépôts ont été l'objet d'importantes observations de M. Tripier dans la province de Constantine.

Parmi ces sources, nous ne citerons que celles d'Hamman-Mes-Koutin sur les bords de l'Oued-Zénati. Elles se font remarquer à une grande distance par les colonnes de vapeur qui s'en dégagent. « En approchant davantage, on distingue un vaste champ hérissé de cônes, au sud duquel il existe des crêtes continues et très-prolongées, formées de dépôts analogues ; et, quand on arrive sur le plateau lui-même, on sent une odeur hydrosulfureuse qui se révèle déjà à plusieurs centaines de mètres des sources ; elle augmente quand on approche sans cependant devenir très-forte.

« Les sources sont dans un état continuel d'ébullition occasionné par le dégagement des vapeurs et des gaz brûlants dont le nuage se dissipe dans l'atmosphère peu après s'y être formé.

» Un peu avant d'arriver aux sources principales, dont la position élevée et la chute en cascades donnent lieu à un magnifique château d'eau, le bruit d'un bouillonnement tumultueux vous attire vers un très-petit bassin rempli d'une eau boueuse et sans écoulement, que soulèvent des

éruptions gazeuses intermittentes, dont la période d'activité est d'environ dix minutes, tandis que le repos absolu qui succède tout à coup ne dure guère que d'une à deux minutes.

» Les gaz se dégagent non-seulement avec l'eau des sources, mais encore par les canaux encore ouverts de quelques-unes de celles qui sont taries, et par une multitude de fissures dont le sol est rempli.

» Ce sol résonne sous les pieds: c'est une accumulation de dépôts successifs que ces eaux auraient accru pendant plus de 100 siècles, à en juger par leur progrès depuis 2000 ans. Leur épaisseur est considérable, vu la profondeur des cavernes qui s'y rencontrent; l'espace qu'ils recouvrent est immense; mais les sources ont disparu des endroits les plus élevés, et les vieux cônes seuls restent là debout, comme pour transmettre aux générations futures la mémoire des phénomènes qui ont présidé à leur formation.

» C'est seulement vers le bas de la colline, sur le bord et dans le lit même de la rivière, que sourdent les eaux d'aujourd'hui; 6 ou 8 des principales sources en donnent chacune un volume comparable à un cylindre de 3 pouces.

» La température de ces eaux paraît constante et marque 95°.

» Toutes ces eaux, dit M. Tripier, offrent les mêmes caractères, quel que soit le volume de la source et la distance, parfois assez grande, qui les sépare des autres. »

Les gaz qui s'en dégagent sont presque entièrement formés d'acide carbonique (97 pour 100), avec un peu d'acide sulfhydrique et une trace d'azote. Les eaux ne contiennent guère que 2 grammes par litre de principes fixes, parmi lesquels dominent le chlorure de sodium, le

sulfate et le carbonate de chaux. C'est principalement à ces deux derniers corps que sont dus les immenses dépôts de travertin si bien décrits par M. Tripier et qui rappellent tout à fait les dépôts tertiaires supérieurs de l'Auvergne et de plusieurs autres contrées.

Il cite d'abord un travertin rose, très-recherché comme pierre à bâtir, pour sa jolie couleur, que M. Tripier attribue à une combinaison de fer et de matière organique.

« C'est, dit-il, une sorte de marbre un peu poreux, tendre et facile à tailler. » Nous avons trouvé en Auvergne, sur le flanc du puy de Saint-Romain des blocs de travertin rose tout à fait semblable que nous avons décrit avec M. Bouillet dans nos *Vues et Coupes géologiques* (page 182).

Ici, comme dans toutes les sources chaudes, la matière organique est en complète dissolution dans l'eau. « Elle est peu abondante, dit M. Tripier, mais au contact de l'air et à une température qui ne doit guère dépasser 60°, il s'en développe des quantités beaucoup plus considérables, sous plusieurs formes qui se transmettent aux dépôts par incrustations. »

« Quelques dépôts doivent une structure baccillaire particulière et caverneuse à des tubes de matière organique qui s'élèvent, comme des forêts, du fond de certains bassins, soutenus dans la position verticale par des bulles de gaz enveloppées d'une membrane et semblables à de petits ballons. »

« Tous les visiteurs ont observé ces espèces de Champignons si bien imités qu'on les prendrait pour les végétaux eux-mêmes à l'état de pétrification ; le plus souvent ils ont pris naissance sur un filament de matière organique qui s'élève du fond d'un courant peu rapide et peu profond,

vient en effleurer la surface, où il s'arrête et fixe un grand nombre de molécules calcaires ; le chapeau s'accroît ainsi bien plus rapidement que le support, qui prend la forme d'un vrai pédicule. »

« Des touffes de Conferves filiformes ont conservé à l'état pierreux l'apparence de pinceaux mouillés ou de ces petites masses de cheveux courts qui couvrent la tête de certaines statues ; des couches entières sont formées de tubes calcaires peu adhérents entr'eux, tantôt vides, tantôt remplis par des débris de végétaux, ou même par des larves d'insectes. D'autres dépôts, d'une excessive dureté, tout percés de canaux laissés par des ramilles détruites, présentent une multitude d'empreintes de feuilles d'une netteté parfaite. Elles ont la plus grande ressemblance avec celles du Laurier, de l'Orme, de l'Amandier, de l'Olivier qui croissent encore tout près de là ; la formation de ce dépôt paraît toutefois remonter à une haute antiquité. »

« Le sulfure de fer incruste beaucoup de matières diverses, telles que des fragments de dépôts, des racines, du bois, des écorces et le reste de plusieurs espèces d'Hélix qu'on trouve en grand nombre sur les plantes qui croissent à côté des lieux où le phénomène s'accomplit. Je n'ai remarqué ce fait que là où l'hydrogène sulfuré rencontre des matières organiques en décomposition. »

« Quand l'hydrogène sulfuré, ou mieux son mélange avec l'acide carbonique, l'azote et la vapeur d'eau, arrive dans des parties caverneuses et perméables à l'air vers la surface du sol, il y dépose sur toute espèce de corps des quantités notables de soufre, sous forme d'incrustations cristallines ou de géodes tapissées d'octaèdres allongés très-réguliers. Les Arabes ont fouillé plusieurs de ces solfatares,

et depuis lors les matériaux de remblai ont été incrustés de soufre. Ce corps se dépose aussi de l'eau courante autour des sources, le plus souvent sous forme pulvérulente, en couches minces qui alternent avec celles des dépôts calcaires. »

« L'hydrogène sulfuré subit dans ces solfatares, au contact du travertin, une combustion plus générale, de laquelle résulte de l'acide sulfurique qui convertit le calcaire en un gypse fibreux, véritable production épigénique qui tapisse, dans tous les sens, les cavités d'une couche qui a quelquefois plusieurs pouces d'épaisseur. » (*Ann. de chimie et de physique,* 3e série, t. 1, p. 35).

Ainsi voilà des eaux qui fabriquent des calcaires concrétionnés, des calcaires à phryganes, du sulfure de fer, du soufre, du gypse, travaillant ainsi à découvert et sous nos yeux, comme pour nous expliquer la formation de plus anciens dépôts. Nous allons maintenant voir ces eaux s'occuper de pisolithes.

« On trouve dans le cratère de plusieurs cônes, au centre seulement, et à la place qu'ont dû occuper les dernières eaux, de petites concrétions globulaires à couches concentriques, dont le volume assez considérable dans chaque amas, et le plus souvent de la grosseur d'un petit pois, varie dans les différents cônes, depuis celui du plomb de chasse le plus fin jusqu'aux dimensions des plus gros noyaux de cerises. Ces pisolithes, réunies par agglomération, sont comprimées mutuellement, et présentent à leur surface un grand nombre de facettes à 4, 5 ou 6 pans, qui leur donnent quelque ressemblance avec des dodécaèdres pentagonaux. On ne leur trouve point de noyau distinct ; elles paraissent avoir pris naissance au milieu du liquide en mouvement, et

aux dépens des particules qu'il déposait à l'époque où les cônes, encore pleins d'eau, avaient cessé de la répandre pardessus leurs bords, et ne donnaient plus d'issue qu'aux productions gazeuses. Leur composition est analogue à celle des autres dépôts, mais elles contiennent à peine de matière organique, qui paraît n'avoir pas pu s'y développer en même proportion qu'au dehors, soit en raison de la température élevée entretenue par les gaz brûlants, soit par le défaut d'un contact suffisant avec l'air, ou par ces deux causes réunies. » (*Id.*)

« La rivière ou Oued-Zidda, ou Schoua qui entoure Hamman-mes-Koutin au nord et à l'ouest, est presque entièrement le produit des sources thermales dont elle va porter les eaux dans l'Oued-Zenati. Quand on remonte son cours, on lui trouve, longtemps avant la grande source, une température de 45°. Au delà de leur affluent, elle n'a plus que la température ordinaire, et l'on en boit sans lui trouver de mauvaise qualité ; mais en continuant à remonter, on observe qu'elle s'échauffe graduellement jusqu'à un kilomètre de distance où elle a acquis 50° après le mélange d'un courant qui vient de plus loin avec l'eau de nouvelles sources brûlantes, auprès desquelles on voit aussi des cônes et des ruines. »

« Tous les voyageurs ont vu avec surprise au bas du château-d'eau, quand la rivière froide a reçu les eaux thermales, un bassin naturel, profond de 2 pieds 1|2, au fond duquel beaucoup de poissons se promènent, et l'on se brûle quand on y plonge le doigt ; le poisson qu'on y pêche produit une sensation de chaleur à la main qui le saisit. En agitant l'eau avec un bâton, on aperçoit des stries, comme quand deux liquides de densité différente viennent à se mé-

ler. Les poissons peuvent vivre dans la couche inférieure qui élevait le thermomètre à 40° quand la couche supérieure marquait 56°. Ces poissons (ce sont des barbeaux) ont une chair molle et fade. » (*Id.*)

Les travertins sont couverts, d'après M. Tripier, du *Lecanora Villarsii* qui y remplace le *Squammaria crassa*, ou *S. Smithii*, qui abonde sur le plateau central de la France et sur les travertins et sur certaines masses du calcaire jurassique.

Un des faits les plus remarquables de l'intermittence des sources nous est fourni par celle de Neberlingen analysée par Herberger (*Journal de pharmacie*, t. 19, p. 148.) Cette source située sur les bords du lac de Constance laisse déposer périodiquement pendant les mois de mai et de juin une quantité considérable d'ocre de fer. *Elle fleurit* selon l'expression du peuple. Cette eau renferme de fortes proportions de carbonate de fer, de manganèse, de soude, de chaux et des sulfates de soude et de magnésie. Il serait possible que le dépôt d'ocre provînt de la réaction de matières organiques sur le carbonate de fer.

Les variations de composition pour les eaux de Bourbonne ont été démontrées par M. Cabrol, médecin en chef de l'Hôpital militaire, et par M. Drouot, ingénieur en chef des mines. Ces observations ont prouvé l'inconstance de la composition et les variations de température. (*Ann. des Mines*, 6e série, t. 3, p. 75.)

Si l'on croyait encore à la prétendue constance des eaux minérales soit dans leur température, leur débit et leur composition, les variations qu'éprouve la source de Saxon dans le Valais, viendraient certainement ébranler cette croyance.

Plusieurs analyses faites par M. Pyr. Morin et par MM. Rivier et de Fellenberg prouvent que cette eau renferme quelquefois des quantités considérables d'iode, et que parfois aussi elle n'en contient pas de traces. Sur sept analyses faites à diverses époques (deux par MM. Rivier et de Fellenberg et cinq par M. Morin) quatre constataient la présence de cette substance et trois montraient que l'eau n'en renfermait pas.

Des expériences très-curieuses faites par MM. Rivier et de Fellemberg, et pour ainsi dire d'heure en heure des 24 au 29 janvier 1853, ont démontré une très-grande irrégularité dans la présence de l'iode dont les proportions étaient évaluées approximativement par les colorations rose, lilas, violet ou bleu de l'amidon. Or, en suivant ces réactions ; le premier jour pas d'iode à la source. Le second jour à 11 heures rien ; à midi couleur bleue ; à 4 heures teinte lilas. Le troisième jour à la source, rien de 7 à 2 heures ; vers 5 heures et vers 7 heures, couleur bleue, etc....

MM. Rivier et de Fellenberg ont pu voir un jour une *bouffée de gaz* sortir au travers de l'eau ; ils venaient de trouver de l'iode ; cinq minutes plus tard il n'y en avait plus. Lorsque le gaz arriva très-abondant, à l'instant même l'eau contint beaucoup d'iode et resta longtemps chargée de ce principe. Il paraît qu'en été ces bouffées sont continuelles et que la présence de l'iode doit être plus fréquente qu'en hiver.

« En résumé, dit M. Morin (*Bibl. de Genève*, mai 1853, p. 60), on voit que l'eau de Saxon paraît contenir de l'iode d'une manière intermittente et très-irrégulière ; souvent aussi elle n'en renferme pas. Des quantités énormes de cette substance ont été trouvées par l'analyse, jusqu'à 0g, 1267 et et 0g, 1485 par litre. »

Le débit de la source d'après M. Morin paraît varier de 250 à 470 litres. Si on admet ce dernier chiffre et si l'eau contenait toujours 0^{gr}, 1485 d'iode, il sortirait du puits 100 kilogrammes de ce corps en 24 heures. Le brôme ordinairement associé à l'iode n'existe pas dans l'eau de Saxon. Nous supposons que l'iode est à l'état d'iodure de sodium.

Cette énorme quantité d'iode, quelque irrégulière que soit sa production, nous démontre que l'iode contenu dans les eaux de la mer doit provenir de sources minérales qui pouvaient autrefois être plus riches en iode que la plupart des sources de notre époque.

Autour de la source de Saxon, M. Brauns a remarqué un enduit qui recouvre les murs de la cave et de proche en proche jusque dans le rocher; cet enduit contient de l'iode.

« Ce rocher dolomitique est facile à étudier près de l'établissement où il a été entamé à cause des constructions. On remarque quelques fissures par lesquelles s'exhale une assez forte odeur d'iode.

« Partout où la roche est visible on reconnaît qu'elle est compacte, grise, et offre une foule de cavités ou de fentes. Elle présente en même temps par places, une matière friable, jaune orangée ou rose qui paraît avoir été formée dans des cavités arrondies ou celluleuses. La partie dure privée de la portion friable, ne contient pas de trace d'iode, tandis que cette même matière pulvérulente en renferme souvent en grande quantité et jusqu'à 1 gr. 674 par kilogramme. Lavée à l'eau froide, cette poudre selon M. Brauns, donne une solution d'iodure de sodium et d'iodure de potassium avec une petite quantité de bicarbonate d'oxyde des deux mêmes métaux qui paraît provenir de la décomposition des iodures. »

Il y a pourtant des fragments de roche dure qui contiennent de l'iode. « Si on rompt chacun de ces fragments en plusieurs parties, et qu'on les remette en place exactement les uns contre les autres, dit M. Morin, en les séparant cependant par un papier amidonné, humide et légèrement imprégné de vapeur chlorée, on voit au bout d'un certain temps, le papier devenir par places rose, violet ou bleu, ce qui indique exactement quels sont les points contenant de l'iode. Il peut arriver que dans un fragment qui exhale l'odeur d'iode, telle de ces nouvelles surfaces ne colore point le papier quand même elle laisse voir des parties friables. On trouve aussi que les parties contenant de l'iode n'offrent pas une apparence uniforme ; les unes paraissent de même nature que la roche, les autres semblent terreuses et comme formées récemment. Enfin on voit que cette matière tendre a été déposée dans des cavités de la roche ; elle les remplit et on reconnaît quelquefois par le même procédé les fissures par lesquelles elle a pénétré.

» M. Morin est disposé à croire que l'iode n'appartient pas primitivement à la roche, mais qu'il y a été amené par une eau iodurée.

» M. de Fellenberg pense que la présence de l'iode pourrait être en rapport avec celle de débris de plantes marines et de mollusques dont la forme et la structure auraient été détruites avec le temps, mais dont l'iode serait resté. » (*Bibl. de Genève*, mai 1853, p. 59.)

On voit que M. de Fellenberg prend ici l'effet pour la cause, car si les plantes marines contiennent de l'iode, cet élément a été puisé dans la mer et la mer l'a reçu de l'intérieur du globe par des sources minérales.

Loin de puiser l'iode dans la roche que traverse l'eau mi-

nérale, n'est-il pas plus naturel de supposer que la roche iodurée elle-même est le dépôt de sources plus abondantes dont l'eau de Saxon n'est plus qu'une faible représentation et un lointain souvenir. Quelle que soit du reste l'opinion que l'on adopte à ce sujet, l'intermittence de l'eau en rapport avec les inégalités de composition de la roche est toujours un des faits les plus curieux et les plus importants de l'étude géologique des eaux minérales.

M. Erdmann a aussi appelé l'attention sur la variabilité de composition des eaux de Carlsbad. Depuis l'analyse de Berzeline en 1822, il paraît certain que la potasse que le chimiste suédois y avait vainement cherchée y est arrivée plus tard, puisque M. Ragsky l'y a positivement trouvée.

Nous devons supposer que, dans la plupart des cas, le changement survenu dans les dépôts d'eaux minérales a été lent et progresssif, qu'il s'est opéré d'une manière insensible, mais les exemples précédents nous prouvent aussi que certaines circonstances ont pu aussi changer brusquement la nature de leurs eaux.

CHAPITRE XXVII.

De l'action des eaux minérales sur les roches qu'elles traversent.

Outre les dépôts nombreux abandonnés par les eaux minérales, elles exercent encore une action bien marquée sur les parois des roches qu'elles traversent. Nous avons la conviction que la plupart des actions métamorphiques sont dues à des eaux thermales et non à des actions de fusion qui résulteraient de la chaleur seule.

On conçoit en effet que ces eaux, partant des profondeurs du globe, se faisant jour à travers de nombreuses fractures pour surgir à la surface, il doive se former, pendant ce long trajet, des réactions très-différentes, selon la nature des terrains traversés. Comme la composition chimique des eaux a dû changer avec les époques géologiques, la nature des dépôts a dû varier aussi, et donner lieu à des couches successives, lesquelles ont pu cependant se reproduire avec une certaine périodicité.

On ne peut douter de ces changements dans les eaux thermales, quand on considère attentivement la nature des dépôts produits à des périodes distinctes ; on reconnaît bientôt que ces dépôts ont été modifiés, et l'on doit supposer qu'à une époque antérieure à la nôtre, au lieu de calcaire et de silice, les eaux ont pu charrier des matières métalliques, que des réactions ou des phénomènes électriques ont

forcé de se déposer lentement sur les parois des fentes qui leur servaient d'issue. Quand on voit de nos jours l'eau thermale former des minerais de fer, enduire des corps de silice, abandonner, comme à Chaudesaigues, des masses de fer sulfuré qui se dispose en filons, tandis que les eaux n'en contiennent plus une trace à leur sortie, on est forcé d'admettre que la surface d'action chimique de la terre gagnant toujours en profondeur, est maintenant arrivée à un point qui ne permet plus la formation de ces mêmes matières.

Il serait impossible, en considérant les filons comme résultant d'injections de bas en haut, d'expliquer d'abord une structure par zones parallèles, et surtout de rendre raison de ces alternances ou inégalités de puissance et de richesse produites par certaines roches. Il faut nécessairement, dans ces circonstances, qui sont à la vérité exceptionnelles, supposer un liquide qui serait resté longtemps en contact avec les roches. M. Lyell admet que, dans ce cas, à la suite de nombreuses secousses de tremblement de terre, les fentes primitivement formées se sont rapprochées, mais inégalement, c'est-à-dire que les roches les plus tendres se sont resserrées plus que les autres, et que le filon s'est trouvé de cette manière étranglé et dilaté tour à tour. M. Fournet donne une explication qui semble plus naturelle, en faisant remarquer que ce sont principalement les roches calcaires qui contiennent le plus de métaux, et il admet que la solution étant acide, elle a corrodé les roches solubles, de manière à élargir les endroits où elles se trouvaient en contact avec elle, ou bien la dissolution renfermant les métaux à l'état salin, laissait précipiter le minerai à mesure qu'elle se saturait de calcaire. Ce qui prouve encore cette action du liquide sur le calcaire, c'est que, dans quelques gîtes on

a trouvé de gros fragments de carbonate de chaux, dont les angles émoussés et arrondis démontraient l'action d'un acide, d'une manière d'autant plus évidente que les parties schisteuses incluses étaient en relief sur la surface lisse des blocs. Peut-être aussi, comme le dit lui-même M. Fournet, ne doit-on voir, dans ces inégalités de richesse, autre chose que ces attractions de cristallisations produites par des forces électro-chimiques, vers la détermination desquelles les travaux de M. Becquerel nous mènent à grands pas.

Il est vrai de dire que depuis l'époque où M. Fournet attribuait cette importance aux eaux minérales dans la création des filons métallifères, son opinion a complétement changé et que le plutonisme le plus absolu a pris dans ses idées la place des réactions thermales des eaux, mais ce changement dans l'opinion d'un savant géologue, ne peut en apporter aucun dans le grand travail de la nature.

En dehors même des filons métallifères, l'action des eaux minérales se montre partout. Une très-ancienne expérience prouve que le sel marin, quand il est en contact avec une roche calcaire humide, donne lieu à des efflorescences de carbonate de soude. Nous avons rencontré plusieurs fois ces cristaux aciculaires de Natron sur les calcaires lacustres, lesquels, selon nous, doivent leur existence à des sources minérales. A Saint-Nectaire, nous avons vu le granite fortement altéré par le passage des eaux. Le feldspath était mou, complétement altéré.

M. Razoumowski dit que le granite de Carlsbad est altéré par les eaux minérales, qu'il devient stéatiteux et que l'eau attaque des rochers entiers qui ont alors l'air d'être pourris. C'est encore à l'action de ces eaux qu'il faut attribuer une brèche siliceuse à fragments de granite, de silex, de

pétrosilex et de jaspe. Cette roche renferme des pyrites, elle est recouverte de pisolithes. On la trouve en fragments détachés au nord du château de Carlsbad.

Nous citerons encore les sources décrites par M. Shephered (*Americ journal of sci.*, 1851, t. 12, p. 153). Elles sont situées en Californie, ce pays des merveilles de toute espèce, et nous donnent à la fois un exemple de la puissance des eaux minérales, de leur abondance, et de leur action sur les roches environnantes. Ce sont les véritables geysers de la vallée Pluton et de la vallée de Napa. Dans une partie de cette dernière vallée, plus de vingt sources sont réunies sur une espèce de quelques centaines de mètres. Leur température est comprise entre 33° et 65°, et celle de chaque source varie souvent. Ailleurs, au pied du mont Sainte-Hélène, les sources ont disparu, mais le sol est encore chaud. Plus au nord-ouest, au bord de la rivière Pluton, on voit deux ou trois cents sources chaudes dans un espace d'environ deux kilomètres carrés, lesquelles envoient dans l'atmosphère une épaisse colonne de vapeur. Autour des orifices des sources, il se forme des cônes de matières terreuses, de sel et de soufre produit par la décomposition de l'hydrogène sulfuré. Ce gaz est en quantité telle, que lorsque les sources sortent dans la rivière, les eaux sont colorées en blanc par le dépôt du soufre. Quelques-uns de ces cônes sont de grandes chaudières, à l'intérieur desquelles s'agitent des matières en ébullition. Plusieurs de ces sources singulières sont désignées sous des noms tels que *Agassiz's maelstrom*, ou *Silliman's fountain*. »

« Ces sources ont une grande action sur les roches environnantes : elles désagrègent les porphyres et les granites, elles changent les jaspes en matières terreuses, et le feld-

spath en alun. Elles paraissent silicifier le bois ou le changer en lignite. » M. Shephered dit avoir trouvé des gouttes d'un liquide fortement réfringent qui lui fait croire que sous les influences exercées par ces sources, *le charbon peut se changer en diamant.* »

L'auteur a reconnu la présence de cette action thermale le long de la côte de l'océan Pacifique, sur une longueur de deux à trois cents kilomètres. Nous n'oserions pas, comme M. Shephered, attribuer aux sources thermales la formation du diamant, nous n'avons aucune donnée sur l'origine de cette brillante espèce minérale, mais il est tout aussi raisonnable de l'attribuer à des sources que de le considérer comme un produit entièrement plutonique.

Les geysers de la Californie, comme ceux de l'Islande, sont les restes des grands phénomènes produits autrefois par les sources thermales.

M. Magnus a prouvé par de nombreuses expériences que la vapeur qui s'échappe des dissolutions salines possède une température plus élevée que la vapeur d'eau ordinaire. Il est donc probable que les eaux minérales chargées de différents sels ont produit autrefois des vapeurs très-chaudes dont la pression augmentait encore la température. Ces vapeurs ont dû exercer des actions marquées sur les roches qu'elles traversaient.

L'acide carbonique que les premières eaux minérales ont dégagé, s'est certainement répandu dans une atmosphère plus dense et plus étendue que celle qui enveloppe aujourd'hui notre globe. Dès lors, sous cette pression plus forte, les eaux courantes et celles de la mer ont dû en dissoudre de plus grandes proportions. Or cet acide est un des agents de destruction les plus énergiques. Les roches primitives

ont dû céder bien vite à des eaux qui en étaient chargées; en sorte que les eaux minérales, tout en constituant d'immenses terrains de sédiments chimiques, ont dû aussi contribuer largement aux dépôts sédimentaires des terrains de transition.

Il est quelquefois très-difficile de concevoir comment la silice et quelques autres principes auraient pu pénétrer après coup dans les cavités des roches. Comment supposer que le carbonate de chaux, que l'arragonite, que les zéolithes et surtout ces nombreux nodules de silice ordinairement désignés sous le nom d'agathes, ont pu venir remplir des cavités préexistantes depuis longtemps. Si ces cavités remplies se trouvaient à la surface des roches, si l'on pouvait découvrir quelques fissures, ou enfin la possibilité d'infiltrations, on serait en droit d'établir cette succession; mais souvent ces nodules existent au centre de grosses masses, au milieu même de massifs évidemment éruptifs, et alors comment concevoir l'arrivée ultérieure des minéraux qui constituent ces nodules! Autant vaudrait dire que ces ménilites en rognons que l'on trouve dans les marnes tertiaires et qui se clivent suivant les feuillets de la marne, n'y ont pénétré qu'après la consolidation de cette dernière.

Toutes les observations que nous avons faites sur les roches évidemment éruptives, nous ont prouvé que ces roches ne sont presque jamais sorties sans frayer des issues à des sources minérales. Des eaux chargées de principes divers ont accompagné toutes ces émissions, de granite, de porphyre, de trachyte, de basalte; la silice, l'alumine, le carbonate de chaux, le fer et plusieurs autres matières minérales ont dû se mélanger dans la matière de l'éruption, subir toutes les modifications de la pression et de la tempé-

rature, et donner naissance par ces actions combinées à ces nodules variés qui, si fréquemment, ont jeté la discorde dans le camp des anciens géologues et dans celui des géologues actuels.

La présence du quartz, de la baryte sulfatée, des chaux fluatée et carbonatée dans les grès ou arkoses qui touchent le granite, la liaison intime de ce grès à fragments cristallins d'orthose avec le granite sous-jacent, l'apparition fréquente de l'hydroxyde de fer, sont autant de motifs qui font croire à la coopération des eaux minérales dans la création de cette roche.

L'acide sulfhydrique qui se dégage des sources minérales et des solfatares produit des effets très-remarquables sur les roches voisines, et contribue puissamment à leur métamorphisme.

M. Coquand, dans son beau travail sur la géologie de la Toscane, a cité la source de Montdragon dans le royaume de Naples, comme ayant la propriété de couvrir d'efflorescences gypseuses, alumineuses et ferrugineuses, parsemées de poussière de soufre, les pierres calcaires et les tufs qui les avoisinent. Et pourtant, dit M. Coquand, le seul principe volatil qui se dégage de ces eaux est l'hydrogène sulfuré, et celui-ci suffit pour donner naissance aux sulfates de chaux, d'alumine et de fer, ainsi qu'au soufre en nature.

M. Coquand décrit avec détail dans ce Mémoire la transformation lente et continue du calcaire en gypse; il en suit les progrès et conclut de ces actions hydro-thermales contemporaines, au mode de formation des gypses des Alpes et d'autres contrées.

L'origine des alunites est la même que celle des gypses. « Le secret de cette origine, dit M. Coquand, est trahi par

l'induction et par la comparaison des effets qui se reproduisent aujourd'hui dans les solfatares, bien que les laboratoires d'activité incessante que l'on remarque dans ces dernières aient à peu près disparu dans les alunières ; car leur influence expirante consiste en quelques sources thermales qui sourdent dans le voisinage et qui semblent exister là tout exprès pour soulever le voile qui couvre les mystères d'une transformation opérée sous des conditions que nous n'avons pas le pouvoir de reproduire ; mais leur position au milieu de couches sédimentaires dont les caractères normaux n'ont été changés que sur les points mêmes où on observe la pierre d'alun, indique suffisamment que cette substance minérale n'est qu'un produit épigénique dû à la réaction de l'acide sulfurique sur des roches qui contenaient déjà les deux autres principes constituants de l'*alunite*, c'est-à-dire l'alumine et la potasse. » (*Bull. de la Soc. géol.*, 2e série, t. 6, p. 130.)

La réaction des eaux minérales sur les roches de contact a lieu aujourd'hui d'une manière très-énergique dans les lagonis de la Toscane ; il se forme du gypse, du quartz résinite, des borates, etc., par la réaction des vapeurs sur les roches qu'elles traversent, et ces *soffioni* ne sont plus que les restes de ceux qui existaient autrefois dans la contrée.

Les dégagements d'hydrogène sulfuré fréquents dans cette partie métallifère de la Toscane où se trouvent les lagonis réagissent aussi sur les roches pour donner naissance à des gypses et à d'autres minéraux.

Une des grandes différences qui existent entre les laves modernes et les basaltes consiste, comme l'a très-bien fait remarquer M. Delesse, en ce que cette dernière roche contient de l'eau. Cette différence de composition se poursuit

jusque dans les réactions métamorphiques occasionnées par ces deux produits volcaniques. Nous avons toujours vu la lave quand elle recouvre un terrain, ou mieux encore si elle le traverse, réagir par sa chaleur, peroxyder le fer, cuire l'argile, modifier le calcaire. Le basalte au contraire n'a eu d'action que par l'eau minérale qu'il a amenée avec lui des profondeurs de la terre ; il n'a pas calciné, il a réagi par les principes de l'eau, en donnant naissance à de la silice, à de l'arragonite, à de l'hydrate de fer, à des zéolithes, en un mot, à des minéraux que la température seule, quelque active qu'elle soit, ne peut jamais produire sans le concours de l'eau. Nous pourrions rapporter de bien nombreux exemples qui grossiraient inutilement ce volume, nous préférons renvoyer le lecteur à l'important travail de M. Delesse sur le métamorphisme des roches.

CHAPITRE XXVIII.

Des Filons métallifères.

—

Lorsque l'on compare les dépôts, les concrétions et les cristallisations que les eaux minérales opèrent encore sous nos yeux, on est frappé de leur ressemblance avec les minéraux divers que nous présentent les filons métallifères.

Après avoir constaté que les eaux minérales changent de nature, après avoir étudié sur le plateau central de la France leurs dépôts si distincts selon les époques où ils ont été formés, nous ne pouvons plus nous refuser de voir dans les filons les conduits par lesquelles des émanations aqueuses se faisaient jour au dehors.

L'action métamorphisante de l'eau a d'abord formé les salbandes, puis successivement des minerais que l'on peut comparer aux couches de suie d'une cheminée se sont superposés, laissant parfois un vide dans le milieu de ces zones parallèles. Il est vrai de dire aussi que tout ne se passe pas avec cette régularité dans les filons. On y voit des amas confus, des mélanges, des associations qui indiquent en quelques cas le concours d'injections plutoniques ou des remplissages supérieurs. On peut donc, comme le disait Constant Prévost, distinguer deux sortes d'actions ; 1°. celles de bas en haut, produites pendant l'émission des eaux métallifères, de la chaleur et des vapeurs et gaz qui pouvaient l'accompagner ; 2°. celles de haut en bas dues à la filtration

des eaux superficielles; entraînant avec elles les matières métalliques déposées sur le sol ou dans son épaisseur par les sources minérales. Ces deux actions ont été, comme leurs effets, concomittantes et successives selon les lieux. (*Bull. de la Soc. géol. de France*, 2e série, t. 2, p. 393.)

Dans la plupart des mines on a encore la preuve de la présence des eaux minérales. Des sources s'échappent du sol dans la poursuite des filons. Quelquefois même elles sont encore métallifères et l'on attribue aux filons qu'elles traversent l'origine de leurs principes, tandis que ces sources, quelquefois thermales, doivent être considérées comme les restes des courants qui ont créé les filons et qui ont déposé sous la triple influence de la thermalité, des courants électriques et de la pression, les divers minéraux qui composent ces filons.

La mine de plomb de Kurprinz, près de Freyberg, dans laquelle on trouve aussi de la baryte, de la pyrite de cuivre, du quartz et de la chaux fluatée, offre dans quelques-uns de ses filons une structure rubanée des plus régulières, et l'on voit encore sortir une source thermale au quatrième étage de cette mine.

Nous voyons tous les jours le fer amené par des eaux minérales de l'intérieur du sol. M. Virlet a vu à Soligny (Allier), au filon des gouttes-pommiers, un exemple de manganèse très-récent. « Ce filon est si moderne, dit ce savant géologue, que je n'oserais affirmer qu'il ne soit de l'époque actuelle. Quoi qu'il en soit, les émanations manganésifères qui l'ont formé, en pénétrant à l'état gazeux à travers le dépôt alluvial de la surface, lequel n'est recouvert que par la seule terre labourée, ont formé un encroûtement fuligineux d'oxyde de manganèse seulement sur la surface inférieure des galets

et de manière à ne pas laisser douter un seul instant que ce dépôt n'ait eu lieu de bas en haut. Pas la plus petite trace d'infiltration, si facile à constater, quand le dépôt vient d'en haut. » (*Bull. de la Soc. géol.*, 2e série, t. 2, p. 391.)

Le manganèse, comme le fer, peut donc arriver dans l'écorce du globe par sublimation ou par des eaux minérales.

De Senarmont a démontré par ses belles expériences que de nombreux minéraux cristallisés des filons pouvaient être formés par la voie humide. Ses premiers essais ont eu pour objet les carbonates.

« Comme il est bien démontré, dit-il, que la chaleur favorise généralement la déshydratation, même au sein des liquides, j'ai pensé que la formation des carbonates neutres pouvait être une simple question de pression et de température, mais avant d'essayer à les précipiter par le dégagement, à une haute température et sous une forte pression, de l'excès d'acide carbonique qui peut leur servir de dissolvant, j'ai tenté les doubles décompositions par voie humide. Ces premières tentatives ont donc pour point de départ la belle expérience de M. Haidinger.

» J'ai produit ainsi les espèces minérales suivantes : carbonate de magnésie, carbonate de protoxyde de fer, carbonate de manganèse, carbonate de zinc.

» M. Elie de Beaumont fait remarquer que, dans ces expériences, dont il lui avait communiqué le plan depuis plusieurs mois, de Senarmont a réalisé, aussi complétement que possible, les circonstances dans lesquelles plusieurs géologues supposent que se sont formés un grand nombre de filons métallifères. Ces expériences lui paraissent tendre à confirmer l'hypothèse qui attribue l'origine de ces filons à des sources thermales. De même que les expériences de

MM. Mitscherlich et Berthier ont confirmé l'opinion qui attribuait une origine ignée aux filons trappéens, porphyriques, granitiques, etc. » (*Comptes rendus de l'Acad. des sciences*, t. 28, p. 693.)

« Ces expériences montrent encore que les sulfures et les carbonates alcalins qui sont les deux éléments principaux des sources thermales, suffisent pour reproduire un grand nombre d'espèces minérales distinctes, presque toutes cristallisées, appartenant aux *métaux natifs*, aux *oxydes*, aux *carbonates*, aux *sulfates*, aux *fluorures*, aux *sulfures*, aux *sulfo-arseniures*, aux *sulfo-antimoniures*, en un mot, à toutes les grandes familles de composés chimiques, propres aux *gîtes métallifères concrétionnés.* » (Delesse, *Extraits de minéralogie, ann. des mines*, 5ᵉ série, t. 3, p. 680.)

Il existe un grand nombre de minéraux qui, s'ils n'ont pas été déposés directement par des eaux minérales, doivent cependant leur origine à la réaction de la vapeur d'eau sur des roches préexistantes. Il nous semble que les belles expériences de M. Daubrée ont mis ce fait hors de doute. « Dans les Alpes, dit ce savant géologue, les massifs du St-Gothard et de l'Oisans sont connus par les beaux cristaux de rutile, d'anatase, et de brookite qu'ils renferment. Ces cristaux se sont formés dans des fissures préexistantes et sont postérieurs à la roche qui les contient. Les cristaux de rutile, fréquemment placés dans l'intérieur de cristaux de fer oligiste et des cristaux de quartz, montrent que ces substances se sont précipitées dans les mêmes conditions. Ce fer oligiste rappelle par son éclat celui des volcans; il est dû à la décomposition du chlorure de fer par la vapeur d'eau. On est porté à assigner la même origine au fer des filons titanifères. Il faut encore remarquer que l'acide titanique qui

ne s'obtient qu'amorphe par les procédés déjà connus, se dépose en cristaux, quand on décompose son chlorure par la vapeur d'eau ; il en est de même de l'acide silicique. On est donc amené à conclure que les minéraux des filons titanifères résultent de la décomposition de leurs chlorures ou de leurs fluorures respectifs par la vapeur d'eau. En effet, on trouve des traces de fluor et de chlore dans le mica, dans l'apatite, et des traces de bore dans l'axinite et dans la tourmaline. D'autres régions que celles des Alpes présentent des gisements d'oxyde de titane qui se rapprochent de ceux de ces dernières. En Bohême, ceux de Schlackenwalde et de Schœnfeld contiennent le mica, la topaze, le spath fluor et l'apatite. Dans celui du Brésil, le rutile est accompagné de quartz, de fer oligiste et de topaze. (*Comptes rendus de l'Acad. des sciences*, 27 août 1849.)

La plupart des anciennes sources minérales ont été autrefois des sources de vapeur. Non-seulement ces sources agissaient alors sous une certaine pression par l'eau vaporisée, mais encore par les matières qui étaient entraînées par ces vapeurs. Tous les chimistes savent que les corps les plus fixes sont facilement entraînés et en quantités très-notables par la vapeur.

Les belles recherches de M. Nicklès sur l'influence que les milieux exercent sur les cristaux en voie de formation, nous expliquent comment les eaux minérales, en changeant de nature, ont pu donner naissance à des cristaux superposés de même substance, mais de formes différentes.

Les faits observés depuis Leblanc jusqu'à M. Nicklès s'accordent à attribuer aux cristaux une forme généralement plus simple et régulière dans les liquides qui tiennent des matières pulvérulentes en suspension. On admet au con-

truire que les mélanges chimiques exercent, le plus souvent, une action inverse, en compliquant de diverses facettes la forme produite par la dissolution pure.

D'après M. Nicklès, cette influence ne s'arrête pas à la superficie du solide ; elle peut atteindre l'essence même du cristal en voie de formation, si toutefois par sa nature, la substance qui cristallise peut devenir dimorphe ou polymorphe.

On conçoit d'après cela comment une simple modification dans la composition d'une eau minérale, comment l'introduction d'une matière terreuse en suspension dans la dissolution, peuvent amener de différences dans la forme des cristaux. Ces différences que l'on observe souvent dans les filons sont une preuve de plus en faveur de leur origine hydro-thermo-minérale.

M. Bernhard von Cotta a publié le tableau des minéraux qui se trouvent dans les mines de Freyberg. Il a terminé cette liste par deux séries d'éléments dont les uns se trouvent dans les minéraux cités, tandis que les autres en sont exclus. « Ces tableaux mettent bien en évidence la grande différence qui existe entre la composition chimique des filons de Freyberg et la plupart des roches. La potasse et la soude y manquent complétement et l'alumine ne s'y rencontre qu'en très-petite quantité. N'est-on pas en droit de conclure de ce fait seul que leur mode de formation n'est pas le même que celui des roches éruptives non plus que des roches sédimentaires et métamorphiques? » (*Ann. des Mines*, 5e série, t. XVIII, p. 652, *Extrait par Delesse.*)

Nous pouvons invoquer aussi l'opinion du savant secrétaire perpétuel de l'Académie des sciences.

« On est conduit, dit M. E. de Beaumont, par l'ensemble des faits et des rapprochements que nous avons discutés (*Bull. de la Soc. géol. de France*, 2e série, t. 4, p. 1249), à considérer la plupart des filons, des véritables filons, des plus réguliers, en un mot des filons d'incrustations, comme ayant été produits par des dépôts opérés dans les eaux qui circulaient dans des fentes de l'écorce terrestre, à l'état liquide ou à l'état de vapeur. C'est là une opinion qui est bien loin d'être nouvelle, et qui a de grands rapports avec celle sur laquelle Werner basait sa théorie des filons. »

« Si les matières qui remplissent un filon y avaient toujours été injectées à l'état de fusion, comment expliquerait-on, par exemple, un filon composé de bandes alternatives de fer spathique et de quartz? »

« Au contraire, l'hypothèse qui attribue les filons métalliques ordinaires à des émanations sous forme de vapeurs ou d'eaux minérales, permet de concevoir les faits les plus variés que présentent les filons, et, par exemple, le développement des affinités chimiques, dont on a remarqué depuis longtemps l'influence dans la manière dont les métaux y sont associés. Les substances qui y sont généralement réunies, ont beaucoup de rapports entre elles, et souvent des propriétés tout à fait analogues. Le nikel et le cobalt, qui se trouvent très-souvent ensemble, ont les plus grands rapports dans leurs propriétés. Il en est de même du fer et du manganèse. L'antimoine et l'arsenic, dont les propriétés sont analogues, jouent des rôles analogues et sont fréquemment associés. L'argent et le plomb ont beaucoup de rapports; ils sont très-constamment associés dans les filons. Il est assez rare d'y trouver de l'argent qui ne soit pas accom-

pagné de plomb. Il est encore plus rare de trouver du plomb qui ne soit pas argentifère, parce que le minerai de plomb le plus répandu est le plomb sulfuré, dont les propriétés sont très-analogues à celles du sulfure d'argent. Le plomb et le zinc, dont les sulfures ont des propriétés analogues, se trouvent habituellement associés ensemble sous la forme de la galène et de la blende; enfin il en est de même de toute la grande famille des métaux qui entrent dans les filons stannifères, l'étain, le tungstène, le tantale, le niobium, le pelopium, etc. »

« La division des filons en deux grandes classes, dont l'une contient habituellement un grand nombre de corps simples inconnus ou très-rares dans l'autre, est complétement en rapport avec la supposition que les filons se sont formés dans des circonstances qui ont permis aux affinités chimiques de déployer leur action avec une entière liberté. Elle met d'autant mieux en évidence l'influence des actions chimiques sur la formation des gîtes métallifères, que les deux classes se rattachent à deux grandes classes de roches, dont la composition chimique présente des différences qui sont en rapport avec celles des deux grandes classes de filons. »

Dans cet intéressant mémoire, M. E. de Beaumont cite l'exemple du Cornouailles, pour montrer que les émanations métallifères se sont succédées à des époques distinctes et qu'elles ont été d'autant plus riches qu'elles étaient plus anciennes. Il rappelle d'abord les filons stannifères liés aux roches granitiques, puis les filons cuivreux. La troisième série se compose des filons croiseurs contenant du plomb, du cobalt, du sulfure d'antimoine, de l'argent noir et de l'argent natif. Enfin la dernière série de dépôts ne contient

plus que du manganèse, et ces derniers atteignent le grès du trias, tandis que les filons de plomb et de cuivre, et à plus forte raison ceux d'étain, ne pénètrent jamais si haut.

Le gisement des filons métallifères et celui des eaux minérales se trouve presque toujours au contact ou presque au contact de deux roches, ce qui indique une relation intime dans l'émission. La roche soulevante, en brisant le sol préexistant, a frayé l'issue aux émanations aqueuses et minérales. M. Daubrée, dans son savant Mémoire sur les amas de minerai d'étain (*Ann. des Mines*, 3e série, t. 20, p. 65), a même reconnu que tous les amas stannifères, quelle que soit la roche qui les renferme, granite, porphyre, gneiss, ou micaschiste, se trouvent toujours près du contact avec une autre roche. Aucun de ces amas ne s'éloigne de plus de 500 mètres de la jonction de deux terrains.

Nos observations sur les filons nous conduisent à des conclusions tout à fait semblables à celles qui ont été émises, en 1843, dans un remarquable Mémoire de M. A. Boué et à celles que nous avions déjà indiquées en 1836.

« C'est ainsi, dit M. Boué, qu'on peut se représenter le *remplissage premier des filons*, où les eaux thermales et acidules, et les décompositions et recompositions électro-chimiques ou galvaniques ont joué un grand rôle, actions qui se continuent même encore en petit. Si les pseudomorphoses mettent les actions chimiques hors de doute, les gangues y portent surtout tous les caractères des dépôts aqueux. Si elles n'offraient que de la chaux carbonatée, on pourrait rester dans le doute sur la température du dissolvant; mais l'abondance du quartz et de ses variétés amorphes, des sulfates et carbonates de baryte et de strontiane, le fluate de chaux, certaines pyrites ou le fer sulfuré, l'arrago-

nite coralloïde, certains hydrates, tels que celui de cuivre, la malachite et certaines zéolithes, lèvent tous les doutes en indiquant clairement des eaux très-chaudes. Werner avait donc bien raison de retrouver dans les filons les traces du travail des eaux, et les Huttoniens avaient tort de n'y voir que des cheminées plutoniques enduites de minerais sublimés; mais ces structures par salbandes et par couches concentriques, ces surfaces mamelonnées et poreuses en partie, à la manière des travertins, ces minéraux stalactiformes et ces druses étaient l'ouvrage d'un agent plus puissant que l'eau froide de Werner. En comprenant les *zéolithes* parmi les minéraux par dépôt aqueux thermal, nous ne voulons pas nier que certaines zéolithes des roches ignées ont pu se former immédiatement par la voie ignée; il est même possible que quelques zéolithes aient une double origine. Nous connaissons la mésotype et la stilbite dans des fentes des silex de la craie, non loin des basaltes d'Irlande, et l'apophyllite sous la variété d'oxavérite, a été trouvée dans du bois pétrifié, près d'une source chaude. L'alcali des zéolithes semble toujours indiquer au moins un véhicule chaud. Parmi les produits aqueux des filons, il est curieux de comparer les gîtes des variétés du quartz avec ceux qu'ils ont dans les roches; si on trouve des similitudes entre les druses du quartz des filons et d'autres dépôts, c'est surtout dans les terrains schisteux anciens qu'on revoit des gîtes siliceux ressemblant à ceux des filons; s'il y en a dans des dépôts comparativement récents, ces rapprochements ont trait bien plus aux variétés amorphes qu'à celles qui sont cristallisées. D'une autre part, les filons ne présentent jamais les *silex* des terrains secondaires et tertiaires, quoiqu'on ne voie pas pourquoi la silice n'aurait pas pu se pelotonner de même, enve-

loppée qu'elle est souvent dans d'autres substances. C'est un cas analogue à nos dépôts siliceux d'eaux thermales, qui ne produisent pas non plus de silex. Sans nier la possibilité que certains filons siliceux, dans les terrains anciens, puissent contenir des traces de restes organiques, d'infusoires, de conferves, par exemple, nous serions tentés de croire que ceux où ce fait est patent sont plutôt récents ou ont été comblés entièrement assez récemment. C'est ainsi qu'on peut concevoir que, dans quelques cas rares et des positions particulières, des eaux thermales peuvent produire des Agathes renfermant quelques restes de Conferves, puisque nos eaux thermales déposant de la silice en contiennent; mais il ne paraît guère admissible d'en attendre, même au fond des fentes d'où sont sorties nos grandes éjaculations d'eaux bouillantes. Toutefois, une bonne partie des silex des terrains sédimentaires ont été prouvés être le résidu d'infusoires ou même d'autres zoophytes, tels que les Alcions, les Eponges, etc. Ne serait-il pas permis d'étendre cette conclusion à tous les silex, et de concevoir ainsi parfaitement l'absence de ce genre particulier de quartz dans les filons métallifères? Dans tous les cas, si les meulières ou le réseau siliceux de certaines roches rappelle fort bien la distribution du quartz dans certains filons, il a fallu des circonstances particulières pour la production des concrétions isolées de silex à une époque quelquefois très-voisine du dépôt des meulières. Est-ce la présence d'un magma pâteux, ou celle des infusoires, ou l'attraction exercée sur la silice par certains animaux en putréfaction? C'est ce que la chimie nous dira sans doute un jour. (*Bull. de la Soc. géol.*, t. 14, p. 426.)

Les belles et patientes études de M. Aimé Pissis, sur la chaîne des Andes, l'ont amené aussi à reconnaître le rôle

important des eaux minérales dans la formation des filons et leur relation avec les phénomènes volcaniques.

« L'étude comparée des filons des différentes époques volcaniques, dit ce savant géologue, laisse entrevoir déjà un certain ordre dans la succession des corps que les eaux thermales amenaient à la surface; tandis que les filons les plus modernes sont remarquables par le nombre considérable des corps qui entrent dans leur composition, puisque l'on y rencontre la plus grande partie des métaux et des corps simples non métalliques, ceux qui se rapportent aux masses hypersténiques ne présentent guère d'autres métaux que le fer et le cuivre, et parmi les autres corps le soufre y joue un rôle important; l'arsenic, le phosphore et le fluor ne s'y présentent que d'une manière accidentelle. Pour les filons encore plus anciens qui se rattachent aux masses porphyriques, les métaux sont le fer et l'étain; les combinaisons d'arsenic et de phosphore, déjà très-rares dans les filons précédents, ne paraissent plus dans ceux-ci. Enfin, il importe encore de remarquer qu'en même temps que la composition des dépôts métallifères devient plus simple, la silice semble jouer un rôle de plus en plus important; en effet, tandis que le quartz n'occupe qu'un rang tout à fait secondaire dans la composition des filons formés après le soulèvement de la chaîne principale des Andes, il constitue presque à lui seul tous ceux qui se rapportent aux masses porphyriques et la majeure partie de ceux qui accompagnent l'hypersténite. » (*Comptes rendus de l'Acad. des sc.*, t. 56, p. 85.)

M. Rivot est arrivé à une conclusion presque semblable, en étudiant avec soin l'apparition successive des filons, des croiseurs et des failles dans les mines de Vialas, dont les

remplissages ont été aussi successifs, et parmi les conclusions intéressantes qu'il a pu déduire de ses études, il cite principalement celle qui est relative à l'arrivée des minerais argentifères. « Les galènes les plus riches en argent, dit-il, ont rempli des réouvertures produites dans des plans différents à une époque certainement postérieure au dépôt des dernières assises tertiaires. » (*Comptes rendus de l'Académie des sciences*, t. 56, p. 100.)

Il est bien difficile d'admettre des injections plutoniques argentifères à une époque aussi récente en géologie, et les relations que nous savons exister en Auvergne entre des eaux minérales et les galènes de Pontgibaud, tendent encore à nous faire supposer qu'à toutes les périodes les eaux thermales ont concouru à la formation des filons métallifères.

M. François a fait d'importantes observations sur les eaux minérales de la Malou (Hérault), et les a adressées à l'académie des sciences dans sa séance du 2 décembre 1861. Ces eaux appartiennent à la classe des bicarbonatées sodiques et ferrugineuses avec excès d'acide carbonique. Elles sortent dans les Cévennes occidentales à la limite de la montagne noire.

« Ces eaux minérales, au nombre de 25 au moins, se montrent au voisinage de la limite divisoire des marnes irisées et du terrain silurien, représenté par des schistes talqueux métamorphiques adossés au versant oriental du massif granitique du mont Carroux. Elles surgissent le plus souvent de filons de quartz plus ou moins ferrugineux imprégnés de nids, veinules et mouches de galènes, de cuivre gris, de cuivre carbonaté et silicaté, de pyrite de fer arsenical. Plusieurs de ces sources apparaissent au jour sur les parois d'an-

ciennes galeries de recherches ouvertes sur des filons de plomb et de cuivre. »

« Ces filons de quartz plus ou moins métallifères forment différents systèmes. On observe notamment la direction N. 80 O, et S. 15 O. Les filons qui se rapportent à la première de ces divisions paraissent plus anciens. Ils sont plus métallifères, leur quartz est plus compact. Les filons de la seconde direction paraissent plus récents. Ils sont plus particulièrement liés de position aux eaux minérales; ils sont généralement moins riches en plomb et en cuivre sulfuré, et plus chargés de pyrite de fer arsenical. Leur quartz est souvent recouvert et pénétré de cristaux de sulfate de baryte. Plusieurs filons sont recouverts à leur couronnement de travertins siliceux et ferrugineux. La position de ces travertins, leur structure et leur composition témoignent qu'ils procèdent de sources minérales ayant surgi aux salbandes des filons. »

« Dans les fouilles pratiquées sur ces sources, l'aspect des lieux traversés indiquait de la part des eaux minérales une action énergique sur la roche schisteuse. Cette dernière successivement altérée, divisée, puis détrempée, était en plusieurs points, notamment sur le prolongement des filons et sur les lignes de retrait, corrodée et entraînée. Ces actions successives y avaient donné naissance à des cavités allongées, en chapelet, que M. François a trouvées en voie de remplissage actuel par les eaux minérales. »

« L'état et l'aspect des lieux, continue le savant ingénieur, ne permettent pas de se tromper quant au fait de remplissage des cavités de la roche (Nids, poches et fentes), par les eaux minérales. On ne pouvait mieux prendre la nature sur le fait. Les matières de remplissage déposées par

les eaux se composent d'une association irrégulière, plus ou moins compacte et serrée, selon le dépôt d'ancienneté, de cristaux de baryte sulfatée, de quartz cristallisé, de quartz amorphe, de pyrite de fer et de mouches de cuivre, qui sont évidemment en voie de formation. »

« Cette association rappelle d'une manière exacte la composition et la structure de la pâte, ou matière de remplissage de filons anciens du voisinage. »

Il est impossible aussi de ne pas rattacher encore ces curieuses observations à celles que nous avons faites sur les filons de galène de Pontgibaud, lesquels se trouvent dans les schistes talqueux et sont encore accompagnés des émissions d'eaux minérales auxquelles ils doivent peut-être leur origine.

M. François a bien voulu nous montrer tous les curieux échantillons de la Malou, et nous communiquer les intéressants détails qu'il a recueillis sur ces sources et sur leurs dépôts. Nous devons joindre ici à nos remercîments l'expression de la certitude que nous avons acquise de tous les faits qu'il a si bien observés et des importantes déductions qu'il en a tirées.

Les relations entre les sources minérales d'une contrée et les gîtes métallifères pierreux de cette contrée, ne peuvent être contestés en Auvergne où nous les avons signalées. M. Daubrée a fait ressortir dans un mémoire des plus intéressants la connexion des eaux de Plombières avec les filons des environs. Il a cité en outre comme localités où les deux phénomènes (filons et sources) coexistent encore : « Badenweiler dans le grand-duché de Bade, Sylvanès dans l'Aveyron, Servoz et Courmayeur dans les Alpes. A Carlsbad et Marienbad, ajoute-t-il, une relation des sources

thermales et gazeuses avec les filons de quartz et de fer oligiste du voisinage, ressort clairement des excellentes descriptions que l'on possède sur ces localités. » (*Comptes rendus de l'Acad. des sciences*, t. 46, p. 1201.)

M. Cocchi a remarqué qu'en Toscane les sources sont innombrables, mais qu'elles existent surtout dans la chaîne métallifère, et qu'elles étaient autrefois bien plus nombreuses que de nos jours. (*Bull. de la Soc. géol.*, 2e série, t. 13, p. 284.)

Nous ne citerons pas un plus grand nombre d'exemples à l'appui des relations intimes des filons métallifères et des eaux minérales; nous avons voulu seulement compléter dans ce chapitre quelques-unes des idées émises dans celui qui précède.

En résumé, malgré l'importance que nous accordons aux sources thermales dans la création des filons, nous ne pouvons méconnaître qu'il existe pour eux plusieurs modes de formation.

Les uns ont été injectés. Ce sont des matières fondues sortant comprimées ou poussées du sein de la terre et remplissant des fentes préexistantes ou des fractures contemporaines.

D'autres sont considérés comme des dépôts de suies minérales, lentement accumulés dans de longues cheminées qui sont des fentes de l'écorce terrestre : ce sont les filons de sublimation.

Enfin, on désigne plus spécialement sous le nom de filons d'incrustation ceux que l'on suppose formés par des eaux minérales contenant autrefois des principes qu'elles ne renferment plus.

Ces trois ordres de filons, d'*injection*, de *sublimation*

et d'*incrustation* ont dû se combiner quelquefois dans la nature; mais nous pensons que le dernier mode, l'intervention des eaux minérales est de beaucoup le plus fréquent.

Presque tous les filons d'injection ont été accompagnés ou suivis d'émissions d'eaux minérales. La chaleur seule serait impuissante pour les filons de sublimation. La vapeur d'eau a joué un rôle important en entraînant des corps qui, seuls, n'étaient pas volatils. Or de la vapeur d'eau à l'eau elle-même possédant une température élevée, il n'y a pas loin. On pourrait même admettre que bon nombre d'eaux thermales résultent de la condensation des vapeurs près de la surface de la terre.

Il est encore une autre observation qui doit nous faire croire à l'intervention de ces différents modes, c'est la tendance de la nature à se répéter à des intervalles plus ou moins éloignés et à réagir sur les mêmes points. Très-souvent dans une contrée une première fracture du sol, arrivée pendant l'une des premières périodes géologiques, détermine toutes les failles et toutes les éruptions subséquentes. Une ride de la terre dans un sens déterminé appelle longtemps après d'autres rides dans la même direction. Les terrains de sédiments montrent les mêmes alternances de grès, de calcaires et de marnes à des époques géologiques séparées par de longs intervalles.

Ainsi donc, un filon d'injection pourra devenir plus tard un filon de sublimation et peut-être un filon de dépôt. Les rôles peuvent être renversés, et le filon de dépôt peut, par la suite, être injecté ou recevoir des sublimations. Il n'y a donc rien d'absolu ni dans le mode de création, ni dans l'ordre de succession. Si maintenant nous tenons compte

des réactions qui doivent s'opérer pendant ces actions plutoniques et thermo-neptuniennes, du métamorphisme qui doit altérer les minerais ou la guangue du filon, nous aurons une idée des causes qui ont présidé aux dépôts des richesses métallifères ou pierreuses que nous allons chercher dans la partie solide de notre planète.

CHAPITRE XXIX.

Des Salses.

Le phénomène des salses se rattache tout à fait à celui des eaux minérales. Des salses célèbres, celles de Turbaco, ont été visitées par de Humboldt, par M. Boussingault et par M. Vauvert. Elles sont situées dans la clairière d'une forêt, près de Turbaco, à peu de distance de Carthagènes, dans la Nouvelle-Grenade. On y voit une vingtaine de petits cônes tronqués, élevés seulement de 6 à 8 mètres au-dessus de la clairière. Leur circonférence est à leur base de 60 à 80 mètres. Au sommet de chacun de ces cônes se trouve une ouverture circulaire de 4 à 8 décimètres de diamètre, remplie d'une eau constamment agitée par le dégagement de bulles de gaz d'un diamètre considérable. M. Vauvert a compté comme Humboldt cinq éruptions en deux minutes. Ces éruptions qui amènent de la boue grise ont recouvert le sol d'une argile fendillée.

M. Vauvert a trouvé la température de la boue à 30°. Humboldt avait trouvé 27°,5. M. Vauvert a recueilli du gaz de ces volcans d'air, et il a pu le faire brûler. Il a répété ce qu'avait fait M. J. Acosta qui avait constaté que ce gaz est presqu'entièrement de l'hydrogène pur. L'observation du général Acosta est d'autant plus curieuse que de Humboldt, il y a plus de 50 ans, avait reconnu que ce gaz était en grande partie de l'azote, et lorsqu'on lit les détails

des opérations, il ne peut rester aucun doute à l'égard de la rigueur de la conclusion. Il y a donc lieu de croire, ajoute M. Boussingault, que le gaz des *volcanites* est aujourd'hui beaucoup plus riche en hydrogène qu'il ne l'était il y a un demi-siècle.

D'après un échantillon de boue liquide rapportée par M. Vauvert, indépendamment du chlorure de sodium (6 gr. 59 par litre), du sulfate de soude (0,20) et du carbonate de soude (0,31), l'eau des volcanites contient du borax (très-forte trace), ainsi que des traces d'iode, d'ammoniaque et de carbonate de chaux (*Comptes-rendus de l'Académie des Sciences*, 24 avril 1854).

On voit que les salses ont de grands rapports avec les lagonis, avec les eaux minérales et avec les sources salifères qui peut-être ont amené aussi des profondeurs du globe ces argiles si fines qui, dans les salines, accompagnent les dépôts de sel gemme.

Les salses ne sont peut-être que les dernières et faibles manifestations de ce qui s'est passé autrefois sur la terre ; ce sont les restes d'un phénomène qui a atteint son maximum d'intensité à l'époque du trias et surtout des marnes irisées. Cette boue salée ne représente-t-elle pas le dépôt du sel et des marnes fines qui l'accompagnent ou s'y interposent? C'est par les salses que les eaux minérales se rattachent aux solfatares, et celles-ci sont la transition aux volcans en activité. M. Deville fait la remarque que les gaz qui se dégagent par jets autour du lac de Naflia sont composés d'oxygène, d'hydrogène carboné, d'azote et d'acide carbonique, avec odeur de naphte très-prononcée, et que les mêmes gaz s'échappent au Macaloubi de Sicile, ou volcans de boue situés près d'Agripente. « L'eau qui en forme la

boue est salée, dit M. Deville, et il ajoute : cette circonstance n'est pas indifférente si l'on remarque que Macalubi est placé à l'une des extrémités de la zone qui, en Sicile, recèle des gîtes nombreux de gypse, de soufre et de sel gemme, et que le lac de Naftia est placé à l'autre extrémité. Ce gisement acquiert de la valeur si on se rappelle qu'à l'une des extrémités des Pyrénées on trouve associés des bitumes, des gypses et les sources salées des Landes, et qu'on voit, à l'autre extrémité, la source de pétrole de Gabian et les sources salées de Salce, de Rennes, de Balaruc, etc. Le Caucase présente des gisements analogues à ces deux extrémités ainsi que les bas-fonds de l'Orénoque. »

Les bitumes se rattachent tellement aux eaux minérales qu'ils sortent également des salses ou volcans vaseux. Or ces salses sont de véritables geysers, en partie éteints, de véritables sources intermittentes.

Plusieurs de ces volcans de boue sont situés sur la presqu'île de Taman entre la mer Noire et la mer d'Azof, au milieu de terrains tertiaires. Les déjections de ces salses amènent à la surface du sol une assez grande quantité de naphte. Ces salses sont très-calmes ; jamais de bruits souterrains avant les éruptions ; le sol se disloque tout à coup ; il se forme par suite de l'éruption un cône plus ou moins surbaissé de matière terreuse, lequel se brise bientôt et la boue se répand de tous côtés.

Il est impossible de ne pas remarquer l'analogie qui existe entre les produits solides des salses et les boues que l'on rencontre autour de quelques sources minérales.

Franzensbad en Bohême nous en offre un curieux exemple. En face de l'établissement des bains, dans une prairie, se trouve, presqu'à fleur de terre, une couche de boue qui

s'étend jusqu'à une profondeur de 4 à 5 mètres et qui est très-usitée dans le traitement de plusieurs maladies.

« Des ouvriers, dit M. Rotureau, l'extraient à la pelle, et, aussitôt qu'ils l'ont retirée, elle est remplacée par de l'eau dans laquelle l'analyse constate la présence des principes contenus dans les sources, de sorte qu'elle a macéré dans de l'eau minérale. Les morceaux de cette boue restent exposés à l'air et au soleil pendant une année entière ; elle n'est employée qu'après ce temps.

« Cette boue se rencontre en si grande quantité dans tous les environs de Franzensbad, qu'en se promenant dans les allées du parc où sont les sources de la Neuquelle, de la Salzquelle et de la Wiezenquelle, on rencontre, à chaque instant, des points dans lesquels les pieds semblent appuyés sur un sol mouvant et élastique qui donne la sensation d'un tremplin et indique l'existence d'une tourbière. »

Les analyses très-curieuses de l'eau de macération et des boues sont indiquées aussi par M. Rotureau qui se plaît à reconnaître qu'il les doit à M. le docteur Cartellieri qui alors (en 1856) ne les avait pas encore publiées.

Analyse de 1000 *grammes de l'eau de macération :*

Sulfate de potasse............	0,1958
— de soude.............	11,4600
— de magnésie..........	1,2411
— de chaux	26,8954
— d'alumine............	7,9358
— de fer protoxydé.......	97,7803
— — manganèse......	0,5693
Bisulfates..................	47,9590
	194,0367

	194,0367
Silice	0,5894
Acide ulmique	29,4407
Hydrate de chaux	0,1859
Total	224,2527
Eau	775,7473
Total général	1000,0000

L'analyse chimique de 1000 grammes de boue donne :

Phosphate de fer	1,8453
Bisulfures	28,4523
Sulfures	3,5433
Soude	7,1348
Magnésie	1,3743
Alumine	2,8485
Chaux	1,2239
Strontiane	0,3955
Silice	2,3436
Acide ulmique	321,0572
Substances cireuses	18,4166
— résineuses	25,4999
Inappréciées	70,7352
Reste	155,1296
Total	1000,0000

L'analyse a démontré enfin à M. le docteur Cartellieri que 1,000 grammes de la tourbe, à l'instant de son extraction, fournissent :

Eau	824,2857
Parties solubles	44,3571
— insolubles	131,3572
Total	1000,0000

Il est évident que des réactions considérables ont lieu entre le sol et l'eau minérale, et que la présence des matières organiques doit contribuer surtout à la transformation des sulfates en sulfures.

Une autre espèce de boue se forme en Hongrie, à Pistyan, à la source de la Hauptquelle. Cette boue, analysée par le professeur Franz Rogsky, a donné :

Silice	64,40
Carbonate de chaux	12,32
Oxyde de fer	5,83
Magnésie	0,59
Alumine	14,50
Gypse	1,09
Acide phosphorique	0,37
Substances organiques	0,40
	100,00

Bien que plusieurs de ces principes existent aussi dans l'eau, il est probable que le sol contribue pour quelque chose dans ces dépôts.

CHAPITRE XXX.

Des rapports qui existent entre les émanations volcaniques et les sources thermales.

M. E. de Beaumont a très-judicieusement observé que les éruptions volcaniques amenaient à la surface du sol, d'une part, des roches en fusion, des laves et tous leurs accessoires; ce sont *des produits volcaniques à la manière des laves*, et de l'autre, des matières volatilisées ou entraînées à l'état moléculaire, de la vapeur d'eau, des gaz, des sels, etc.; ce sont *des produits volcaniques à la manière du soufre*.

« On voit, dit le savant géologue que nous venons de citer, en remontant le cours des périodes géologiques, que les matières volcaniques à la manière des laves deviennent de plus en plus riches en silice, et que les matières volcaniques à la manière du soufre deviennent de plus en plus variées. Ces dernières sont des produits de la voie humide, de même que les produits des sources thermales sont ceux de la chaleur. La plupart des filons métalliques paraissent s'y rapporter. »

Dans ce même travail, M. E. de Beaumont a fait remarquer la connexion qui existe entre les émanations volcaniques à la manière du soufre, les sources minérales et les filons métallifères. Ce sont les mêmes corps simples qui entrent dans les combinaisons minérales que l'on y rencontre, car dans la liste des éléments qui font partie des

émanations et non des injections volcaniques, lesquels sont au nombre de dix-neuf, trois seulement, le *cobalt*, le *plomb* et le *selenium* (1), manquent à la liste des corps simples connus dans les eaux minérales. Ces trois corps, du reste, ne figurent que pour de faibles proportions dans les produits volcaniques.

« Les produits volcaniques à la manière du soufre, et ceux des eaux minérales, ne diffèrent que par la forme extérieure des phénomènes qui les amènent à la surface du globe. Ils ont au fond la même origine et ne constituent pas deux classes nettement distinctes. »

« Les vapeurs qui se dégagent, soit des laves qui se refroidissent, soit des fissures des cratères, produisent quelquefois, en se condensant, des filets d'eau chaude chargée de différents sels qui sont de *véritables sources thermales*. Un grand nombre de sources thermales ont probablement une origine de ce genre. Elles proviennent, comme les émanations volcaniques, d'une *distillation* et d'une *sublimation* naturelles. Ce serait une supposition gratuite que d'admettre en géologie la sublimation isolée, la sublimation sèche de telle ou telle substance qui paraît avoir joué un rôle dans un phénomène particulier. La nature ne nous offre pas d'exemple de phénomènes de ce genre. Mais une sublimation, une distillation, un entraînement moléculaire, ayant la vapeur d'eau ou l'eau condensée pour auxiliaire et pour véhicule, sont des phénomènes dont les exemples abondent sous nos yeux et qui peuvent même

(1) Depuis l'époque où M. Élie de Beaumont écrivait ces lignes, des traces de cobalt et de plomb ont été signalées dans quelques eaux minérales.

avoir été plus fréquents et plus variés encore pendant les périodes géologiques qu'ils ne le sont de nos jours. »

Cette analogie des sources minérales et des émanations volcaniques devient plus frappante encore quand on en considère les produits. Le soufre qui ne cristallise pas sous la même forme par la voie sèche ou par la voie humide, offre le même système cristallin quand il est abandonné par les eaux minérales ou produit par les émanations des volcans; le gypse qui cristallise dans les fissures de certains cratères et celui que nous avons trouvé en Auvergne, dans les fissures des basaltes, est hydraté comme celui des eaux minérales.

L'opinion qu'une grande partie des filons métallifères ne sont autre chose que la trace des conduits par lesquels les eaux minérales arrivaient et arrivent encore à la surface du globe, a été émise par nous, dès l'année 1836, par suite de nos études sur les filons et les eaux minérales de l'Auvergne. Cette opinion, qui, peut-être, n'était pas nouvelle, a été consacrée, depuis lors, par un grand nombre de savants et surtout par un éminent géologue dont nous rapporterons ici les propres expressions.

« Le plus souvent, dit M. E. de Beaumont, nous ne voyons, dans les produits des eaux minérales, que la partie des dépôts qui se forme à l'extérieur. Cependant nous pouvons observer aussi les stalactites et les stalagmites auxquelles certaines sources donnent naissance dans différentes grottes et les incrustations que certaines eaux produisent dans les tuyaux de conduite. Il est indubitable que si nous pouvions pénétrer dans les conduits suivis par les sources minérales et par les émanations volcaniques, nous les verrions fréquemment incrustés de dépôts analogues. Or, ces

incrustations auraient nécessairement la plus grande ressemblance, tant pour la composition que pour la forme, avec les filons métalliques ordinaires, tels que ceux où le soufre, l'arsenic, le quartz, la baryte sulfatée, la chaux carbonatée, jouent un rôle important. La liste des corps simples trouvés dans les émanations volcaniques et dans les sources thermales et celles des corps simples trouvés dans les filons ordinaires, et la ressemblance des combinaisons dans lesquelles les mêmes corps y sont engagés, conduisent naturellement à cette conclusion qui vient corroborer l'analogie signalée depuis longtemps dans les relations qui existent d'une part entre les sources minérales et certaines roches éruptives, et de l'autre entre les filons métalliques ordinaires et des roches du même genre. »

« Une des circonstances qui portent à penser que beaucoup de filons ne sont que des dépôts opérés par les eaux minérales dans les fissures qu'elles parcouraient, c'est le gisement même de ces filons qui, à prendre la chose dans son ensemble, est tout à fait analogue à celui des eaux minérales. Les eaux minérales, en général, se trouvent plus particulièrement dans les contrées où il y a eu des éruptions volcaniques, ou du moins dans les contrées dont le sol est bouleversé. Or c'est là précisément le gisement général des filons; ils se trouvent principalement dans les contrées dont le sol est disloqué, et ils y sont groupés dans le voisinage des roches éruptives. La différence principale consiste en ce que les sources thermales sont coordonnées à des roches éruptives modernes, tandis que les filons sont coordonnés à des roches éruptives plus anciennes. »

» Les filons dont la nature et la structure rappellent les dépôts des eaux minérales sont plus visibles que les dépôts

formés par les eaux minérales actuelles, à cause des bouleversements qu'a éprouvés dans beaucoup de cas le sol qui les renferme, de la destruction partielle de l'ancienne surface de ce sol qui rend visible des parties situées originairement dans la profondeur et des secours offerts à l'observateur par les travaux des mines qui pénètrent dans leur intérieur. A la vérité, l'analogie de ces filons avec les dépôts d'eaux minérales ne peut se conclure que de leur étude minéralogique. Les eaux qui les ont formés n'y circulent plus aujourd'hui, et si des eaux y circulent encore elles ne sont plus thermales. Les anciens foyers se sont refroidis, et l'activité intérieure a été reportée ailleurs. »

Chaque époque volcanique a déterminé l'émission de sources minérales plus ou moins abondantes. L'époque des volcans modernes en Auvergne a certainement contribué à ranimer des sources depuis longtemps taries. On en a surtout des exemples sur le bord occidental de la Limagne.

En Italie, dans la Campanie surtout, les grandes masses de travertins sont postérieures aux éruptions des volcans. Ces travertins sont évidemment modernes, puisqu'ils reposent sur des tufs volcaniques, et sir Murchison conclut de ce qu'ils ne renferment que des restes d'animaux et de plantes terrestres, qu'ils se sont formés peu après l'exhaussement partiel et l'émersion de la Campanie, dans des lacs ou dans des marais qui avaient une grande étendue. « Tel est, dit le savant géologue que nous venons de citer, le travertin qui autour du *lago dei Tartari* et de la solfatare, occupe un grand espace dans lequel ont été pris presque tous les matériaux qui ont servi aux constructions de l'ancienne Rome ; tel est encore le travertin de certaines collines situées entre Ferentino et Vel Montone sur la route de Naples. »

On remarque dans cette circonstance comme dans beaucoup d'autres, la connexion intime qui existe entre les volcans et les eaux thermales, entre les effets plutoniens et les actions neptuniennes, qui, à toutes les époques géologiques, ont associé leurs efforts pour modifier la surface du globe.

« La plus grande partie des substances que les eaux minérales et thermales contiennent, dit Cordier, étant analogue à celles qui s'exhalent soit des cratères pendant et après les éruptions, soit des courants de lave lorsqu'ils cristallisent, soit des solfatares, on doit croire qu'ils proviennent d'un réservoir commun. »

En effet, quand on songe à la masse de vapeur d'eau qui sort pendant les éruptions des volcans, quand d'un autre côté on réfléchit à la thermalité de certaines sources minérales, on ne peut s'empêcher de reconnaître la plus grande analogie entre ces deux phénomènes. La seule différence, c'est que les actions plutoniennes l'emportent dans le premier cas, tandis que dans le second ce sont les émissions neptuniennes qui apparaissent par suite de l'affaiblissement des premières.

Les rapports qui existent entre les émanations volcaniques et les eaux minérales sont surtout remarquables dans les solfatares. Celle de Vulcano a présenté à M. Deville du soufre sous trois états différents. « Au niveau de la mer, c'est de l'acide sulfhydrique à 88 degrés ; dans le cratère inférieur, c'est de la vapeur de soufre avec une très-faible quantité d'acide sulfureux, et la température y est de 95° à 96° ; enfin dans l'intérieur du grand cratère, le soufre brûle en arrivant à l'air et en produisant de l'acide sulfureux à une haute température. On y trouve du sulfure d'arsenic et de l'acide borique. »

Plusieurs fois on a transformé des solfatares en sources. Dolomieu, dans son *Voyage aux Iles Lipari*, décrit un ruisseau de l'île Pantellaria, formé par des vapeurs qui, à leur sortie de terre, passent sous une galerie, et à mesure qu'elles se refroidissent par le contact de l'air, se condensent en gouttes qui coulant le long de ses parois, donnent naissance à ce petit ruisseau.

Breislak a décrit une source chaude artificielle établie sur la solfatare de Pouzzole. Les vapeurs condensées dans des tubes de roseaux réunissent leurs produits pour former une fontaine qui contient divers principes en solution.

« Ayant examiné cette eau, dit Breislak, je la trouvai chargée d'hydrogène sulfuré, et contenant le muriate d'ammoniaque et les sulfates d'alumine et de fer. Ces vapeurs cependant ne se chargent de ces deux derniers sels qu'en circulant dans la tour et léchant la surface des murs revêtus de ces efflorescences salines. La quantité d'eau fournie chaque jour par cette fontaine n'était jamais moindre de 6 à 7 tonneaux de 480 bouteilles chacun (trois mètres cubes). »

Nulle part peut-être les relations des volcans, des salses, des solfatares et des eaux minérales, ne sont plus apparentes qu'à la Nouvelle Zélande. L'isthme d'Aucland est le théâtre de tous ces phénomènes réunis. « On y rencontre, dit M. Hochstetter, un nombre vraiment extraordinaire de cônes d'éruption de 3 à 600 pieds, le plus souvent avec des cratères distincts, entourés de coulées de lave et reposant sur des couches de grès et de marnes tertiaires. L'action volcanique produit encore maintenant dans ces îles, des effets très-remarquables. Un lac d'eau chaude nommé le Roto-Mahana est situé au milieu d'un sol rempli de sources chaudes, de solfatares, de volcans de boue, etc. Un tra-

vail souterrain incessant, envoie continuellement dans les airs des nuages de vapeurs. La température de l'eau du lac varie selon les endroits de 26 à 40°. Aucun animal ne peut y vivre; ses bords seulement sont fréquentés par des légions d'oiseaux qui aiment à nicher sur ce sol toujours tiède. Au nord, à 80 pieds au-dessus du niveau du lac, est un vaste bassin de 80 pieds de long et de 60 de large, rempli d'une eau limpide en état d'ébullition continuelle; sa température au bord est de 84°; des nuages de vapeurs tourbillonnent continuellement au-dessus de sa surface. Cette eau est souvent violemment projetée par-dessus les bords du bassin, et comme elle est fortement chargée de silice, elle en a formé des dépôts considérables qui s'étendent jusqu'au lac en gradins d'une éclatante blancheur. Il paraît fort probable que bien des dépôts sidérolitiques dont l'origine est encore douteuse ont été formés d'une manière analogue. Au sud du lac est un autre bassin plus petit, dont l'eau bouillante est projetée par intervalles à 30 et 40 pieds de hauteur. Sur ce seul point, on ne compte pas moins de 25 grandes sources d'eau bouillante et beaucoup de plus petites. » (*Atlas géologique de la Nouvelle Zélande*, 1863.)

La présence des filons de quartz résinite dans la plupart des pépérites de l'Auvergne, de l'Islande et de plusieurs autres contrées, le gisement des opales dans les terrains trachytiques de la Hongrie, le ciment de mésotype qui relie les grains de wakite sur les bords de la rivière d'Allier, tout près des sources minérales qui existent encore, tous ces faits témoignent des relations qui existent entre les phénomènes volcaniques et l'émission des sources thermales.

Souvent les déjections des volcans sont les mêmes que celles des sources, avec cette différence cependant que dans

les volcans l'eau s'échappe en vapeur sans pouvoir se condenser à sa sortie, tandis qu'elle sort liquide dans les sources minérales.

Les volcans produisent aussi des boues plus ou moins minérales, des éruptions boueuses combustibles comme le moya des Cordilières et des principes organiques et bitumineux qu'ils puisent très-certainement au-dessous des roches primitives.

La connexion des phénomènes volcaniques et des sources thermales est si intime, que des éruptions volcaniques d'une date très-ancienne peuvent encore exercer à l'époque actuelle une influence marquée sur la thermalité des sources. M. Daubrée en a cité un exemple dans son mémoire sur la température des sources dans la vallée du Rhin, dans la chaîne des Vosges et au Kaisersthul (*Soc. d'hist. naturelle de Strasbourg*, séance du 13 novembre 1848.) Après avoir recherché les relations qui existent entre la température moyenne de l'air et celle des sources, M. Daubrée reconnaît que les sources du massif de Kaisersthul, lequel est, comme on le sait, composé de basalte et de dolérite, présentent une anomalie remarquable. « En faisant la moyenne de leur température (sauf deux qui sont thermales) on trouve qu'il y a une différence de 2° 6 en leur faveur sur la température moyenne de l'air, ce qui peut s'expliquer par un état thermométrique du basalte semblable à celui de Neuffen en Wurtemberg où la température croît de 1° par 10^{m}, 5 d'enfoncement. »

« En résumé, ajoute M. Daubrée, la température en dehors du massif basaltique du Kaisersthul, est assez uniforme pour que la source dont la température dépasse seulement de 2° la température moyenne des sources de même

latitude, décèle avec certitude une dislocation locale dans la structure du sol ; ces sources participent donc déjà au gisement des sources thermales dans la catégorie desquelles on doit les ranger. »

Enfin on retrouve partout les relations de l'eau avec les roches plutoniques et volcaniques. En effet, ce n'est guère que dans les laves modernes que l'eau de combinaison disparaît. Les basaltes, les granites en contiennent; certaines serpentines en contiennent jusqu'à 10 pour cent. Or si l'eau confinée dans l'écorce du globe ou plus souvent l'eau minérale provenant de ses profondeurs a pu encore jouer un rôle important pendant les éruptions basaltiques, à plus forte raison lorsque la croûte solide de la terre était moins épaisse, l'eau thermale a-t-elle dû intervenir. Il est certain pour nous que les laves actuelles sortent de profondeurs plus grandes que les roches éruptives qui leur sont antérieures, et pourtant la présence de l'eau pendant les éruptions se manifeste encore d'une manière très-énergique.

Une remarque des plus importantes a été faite par M. Delesse à la suite de très-nombreuses observations : c'est que « la lave seule porte avec elle et dans son métamorphisme le cachet d'une origine ignée bien évidente. »

» Le trapp et les roches ayant pour base un feldspath hydraté du sixième système peuvent présenter à la fois des traces d'une action aqueuse et d'une action ignée, mais si l'on fait exception pour le basalte, le rôle principal appartient généralement à l'action aqueuse. En effet, ces roches n'ont jamais fait subir aucune altération à des substances qui se trouvent à leur contact et qui sont cependant très-faciles à décomposer par la chaleur ; comme d'un autre côté elles ont été très-fluides, non-seulement à de grandes pro-

fondeurs, mais même à la surface de la terre sur laquelle elles se sont épanchées en nappes immenses, il faut admettre qu'elles peuvent devenir entièrement plastiques sans être amenées à l'état de fusion ignée. Je suis porté à croire qu'elles sont susceptibles de former avec l'eau, aidée par la pression et par une chaleur même modérée, une pâte boueuse très-fluide; cette pâte pourrait se comparer à un mortier; c'est seulement en devenant cristalline et en perdant une partie de son eau qu'elle aurait pris sa dureté et sa grande cohésion. »

« D'un autre côté, nous avons vu que le granite, quand bien même il a fait éruption à l'état fluide, n'a pas toujours fait subir d'altération aux roches par-dessus lesquelles il s'est déversé, ni à celles qu'il traverse sous forme de filons. Le métamorphisme à son contact est, en tous cas, très-différent de celui des laves. Par conséquent il faut nécessairement admettre que le granite peut, comme le trapp, devenir plastique sans passer par la fusion ignée, telle qu'on la connaît dans les laves. »

« Ces conclusions théoriques s'écartent beaucoup, il est vrai, des idées qui sont généralement adoptées sur l'origine des roches éruptives; elles paraissent cependant se déduire immédiatement des études qui viennent d'être faites sur le métamorphisme. » (Delesse, *Études sur le métamorphisme des roches*, p. 403 et 404.)

Nous devons ajouter aux conclusions du savant géologue que nous venons de citer, que nos études spéciales sur le rôle que les eaux thermo-minérales ont rempli en géologie, viennent appuyer cette manière de voir en introduisant dans les diverses périodes de la formation des terrains, l'action

incessante des eaux minéralisées et de la vapeur souvent comprimée.

La différence de réaction sur les roches encaissantes exercée par les laves d'une part et par les basaltes de l'autre est aussi pleinement confirmée par toutes les observations que nous avons pu faire sur le massif central de la France.

CHAPITRE XXXI.

De l'origine des eaux minérales.

—

Après tout ce que nous venons de dire des eaux minérales et de leurs produits, il est presque inutile de revenir encore sur leur origine.

Nous ne prendrons pas la peine de rappeler les théories plus ou moins singulières qui ont été proposées pour expliquer leur composition et leur thermalité. Les observations que nous avons faites sur leur température, celles que nous venons de rapporter sur leur composition, suffisent pour nous faire pressentir qu'elles viennent de l'intérieur du globe, et que c'est là qu'elles puisent la chaleur dont elles sont douées et les divers principes qu'elles amènent au dehors. Descartes avait depuis longtemps assigné cette cause à la température élevée de plusieurs d'entr'elles. Cet illustre physicien supposait que les eaux de la mer se rendaient dans des réservoirs situés à de grandes profondeurs, et qu'elles y pénétraient par des fissures du terrain. Là, elles étaient réduites en vapeur par le feu central, et ces vapeurs élevées dans l'intérieur du sol, se condensaient en eau contre ses parois, et s'écoulaient par les fentes des roches.

En ajoutant la possibilité de l'infiltration des eaux douces comme celles de l'Océan, nous n'avons rien changé à la théorie de Descartes. En effet, quand on voit sur plusieurs

points du globe et notamment dans les lieux où il existe des volcans en activité, des vapeurs s'élever à travers les fissures du sol pour se liquéfier en dehors, on doit nécessairement supposer que la plupart des eaux thermales ont la même origine, et que ce sont des vapeurs qui se condensent avant d'atteindre la surface du sol, et qui, liquéfiées à une certaine distance de cette surface, sont chassées au dehors par une production continue de vapeurs inférieures au point de liquéfaction. Ce n'est pas ici, comme dans les sources ordinaires, la force hydrostatique qui élève l'eau, pas plus que dans un volcan dont la lave s'épanche poussée par des matières gazeuses, c'est une contrepression qui en détermine la sortie.

Nous ne pouvons presque jamais considérer l'émergence des eaux minérales comme une tendance des eaux d'infiltration à reprendre leur niveau. En cela encore elles diffèrent des sources ordinaires et même des puits artésiens. Si plusieurs sources, réellement minérales, proviennent de sondages à des profondeurs diverses, c'est que les eaux minérales sont bien plus fréquentes qu'on ne le croit, c'est qu'un petit nombre seulement a trouvé des circonstances favorables pour arriver jusqu'au jour. Mais l'ascension de ces eaux est due à des refoulements produits par des gaz ou des vapeurs, et c'est dans la réaction de l'eau ou des gaz sur les couches profondes et inoxydées de notre planète qu'il faut chercher la cause de l'émergence de ces sources.

Le mode d'alimentation des sources thermales a été l'objet de recherches très-intéressantes faites par M. Daubrée. Des expériences ingénieuses ont prouvé à ce savant « que la capillarité, agissant concurremment avec la pesanteur, peut, malgré des contrepressions intérieures très-fortes forcer l'eau

à pénétrer des régions superficielles et froides du globe jusqu'aux régions profondes et chaudes, où, à raison de la température et de la pression qu'elle acquiert, la vapeur deviendrait susceptible de produire de grands effets mécaniques et chimiques. »

M. Daubrée explique par cette absorption capillaire le remplacement des grandes quantités d'eau qui se dégagent surtout dans les terrains volcaniques. Ce remplacement ne peut se produire par une libre circulation, car « la voie ouverte à la descente, dit M. Daubrée, constituerait en même temps une cheminée tout naturellement offerte aux émissions de vapeur pour le retour. » « Ces expériences touchent évidemment aux points fondamentaux du mécanisme des volcans et des autres phénomènes que l'on attribue généralement au développement de vapeurs dans l'intérieur du globe, notamment les tremblements de terre, la formation de certaines sources thermales, le remplissage des filons métallifères, ainsi qu'à divers cas du métamorphisme des roches? Sans exclure l'eau originaire et en quelque sorte de constitution initiale que l'on suppose généralement incorporée dans les masses intérieures et fondues, les mêmes expériences ne montrent-elles pas enfin que des filtrations dépendant de la surface peuvent aussi intervenir, de telle sorte que bien des parties profondes du globe seraient dans un état journalier de recette et de dépense, et cela par un procédé des plus simples, mais bien différent du mécanisme du syphon et des sources ordinaires? Un phénomène lent, continu et régulier deviendrait ainsi la cause de manifestations brusques et violentes, comparables à des explosions et à des ruptures d'équilibre. » (*Comptes rendus de l'Académie des sciences*, 1861, t. LII, p. 123.)

Indépendamment des expériences directes et aujourd'hui si nombreuses qui prouvent la température élevée dont notre globe jouit à l'intérieur, les calculs de Fourier conduisent encore au même résultat, c'est-à-dire que la distribution actuelle de la chaleur dans l'écorce du globe, est précisément celle qui existerait si la terre, après avoir été formée dans un milieu doué d'une température extrêmement élevée, eût ensuite marché constamment vers un état de refroidissement. Il regarde comme certain que la terre abandonne continuellement une partie de sa chaleur aux espaces planétaires; mais avec une telle lenteur que depuis les temps historiques aucun phénomène de contraction ne s'y est encore manifesté, quoique cependant il estime cette déperdition égale à celle qui serait nécessaire pour fondre en un siècle, une couche de glace de trois mètres d'épaisseur. (*Ann. de Chim. et de Phys.*, t. 27, p. 136; octobre 1824.)

Si tous les géologues sont d'accord sur la cause de la thermalité des eaux, ils ne le sont pas sur l'origine des principes qu'elles entraînent.

Les uns ne veulent voir dans la composition des sources minérales que des principes dissous ou entraînés dans les terrains qu'elles traversent. D'autres compliquent la question de réactions diverses sur les roches qui sont en contact avec les eaux pendant leur trajet, et l'on ne peut nier dans certains cas l'influence de ces réactions. Mais depuis que l'on a remarqué que bon nombre de sources salines, calcarifères, sulfureuses, bitumineuses, etc., sortent directement du granite, tout en offrant une composition à très-peu près semblable à celles de sources analogues sortant de terrains calcaires, bituminifères, etc., on admet généralement que les eaux vont puiser sous le terrain primitif

des matériaux dont notre globe est formé. On considère alors les eaux minérales comme des sondes qui vont chercher à de grandes profondeurs certaines substances qu'elles amènent à la surface du globe. Comme nous l'avons déjà dit, c'est placer la difficulté sous le granite au lieu de la laisser en dessus.

Les partisans de l'opinion qui regarde le terrain superficiel (supérieur au terrain primitif) comme fournissant les principes de ces eaux ont une dernière objection à faire. Si des eaux déposant en abondance du calcaire comme celles de St-Nectaire, sortent du granite, c'est que la source est alimentée par des eaux qui ont traversé des calcaires avant de pénétrer dans l'intérieur du globe pour y acquérir leur température. Rien ne prouve que les fractures d'émission soient très-rapprochées des sources d'alimentation. Cette objection tombe d'elle-même en se demandant quelle serait alors l'origine de ces puissantes assises de calcaires, de ces grandes précipitations chimiques dont les terrains cristallins ou primitifs ne contiennent pas les éléments.

Nous placerons donc l'origine des principes des eaux minérales sous le granite.

L'acide carbonique et les matières salines qui accompagnent les eaux minérales, tendent à faire admettre qu'elles viennent de grandes profondeurs, et qu'elles sont dues à la condensation de vapeurs qui peuvent, dans certaines circonstances, arriver très-près du sol sans se liquéfier et avec une température bien supérieure à celle de l'eau bouillante. Plusieurs des substances qu'elles renferment quoique nullement volatiles, peuvent avoir été entraînées par la vapeur, puisque nous produisons des effets semblables dans nos laboratoires.

Parmi les principes des eaux minérales, l'acide carbonique est un de ceux dont l'origine offre le plus grand mystère. Les remarquables expériences de M. Thilorier donnent beaucoup de vraisemblance à la présence infra-granitique d'une grande quantité d'acide carbonique, car sa solidification que ce savant a obtenue sous une forte pression, peut nous faire supposer que, malgré la chaleur centrale, il peut exister dans l'intérieur du globe, d'énormes massifs d'acide carbonique solide, ou du moins du carbone qui se combine successivement à l'oxygène, à mesure que celui-ci pénètre, par une sorte de cémentation jusqu'à la partie non oxydée de la terre. Les singuliers caractères que présente l'acide carbonique dans sa dilatation peuvent aussi mettre sur la voie de quelques phénomènes relatifs aux tremblements de terre, aux dégagements de gaz, etc. On ne peut pas non plus attribuer l'acide carbonique à la décomposition de matières organiques profondément enfouies; indépendamment des considérations chimiques qui s'opposent à cette explication, il faudrait encore tenir compte de l'énorme quantité de gaz qui se produit et de la constance relative du dégagement, de telle sorte que l'on ne peut reconnaître à cet acide gazeux, une autre origine qu'aux acides borique, sulfurique et hydrochlorique dont les bases sont enfouies à des profondeurs qui sont peut-être considérables, et font partie de cette réunion d'éléments non oxydés qui, selon toute apparence, forment le noyau intact de notre planète.

L'azote se montre aussi dans un grand nombre de sources minérales. Il peut accompagner l'acide carbonique ou se dégager seul. On connaît dans le comté de New-York, d'immenses dégagements d'azote qui s'élève de terre au travers des graviers, et fait bouillonner avec violence l'eau de plu-

sieurs sources. L'azote existerait-il à l'état solide dans l'intérieur du globe ? serait-il une combinaison gazeuse d'un radical inconnu ? ou bien pénétrant avec l'oxygène à une certaine profondeur, remonterait-il seul avec la source qui aurait permis à l'oxygène d'entrer dans de nouvelles combinaisons ?

L'iode et le brôme ne se trouvent qu'en petite quantité dans les eaux minérales, et jamais à l'état libre, mais à l'état d'acide hydriodique et hydrobromique combinés à la soude, à la potasse ou à la magnésie.

Avant 1825, M. Boussingault découvrit la présence de l'hydriodate de magnésie dans un liquide provenant d'une saline de la province d'Antioquia. A cette époque, ce savant chimiste ignorait que déjà on avait reconnu l'iode dans plusieurs eaux minérales. L'iode et le brôme, comme le soufre et le carbone, doivent exister dans l'intérieur du globe, puisque les eaux les amènent à la surface ; mais il faut remarquer que c'est toujours à l'hydrogène que ces corps sont unis.

Le phosphore et le fluor ne se rencontrent qu'en quantités extrêmement petites et toujours à l'état d'acides phosphorique et fluorique combinés à des bases. C'est ainsi que Berzelius a trouvé quelques-uns de ces sels dans les eaux de Carlsbad, et M. Girardin dans celles de Saint-Alyre.

Le fer et le manganèse existent tous deux en quantité variable ; le fer est très-fréquent, le manganèse n'est pas très-rare. Ce dernier a été trouvé à l'état de carbonate dans le dépôt des eaux chaudes de Coconuco, près du volcan de Puracé, par M. Boussingault, et dans les eaux de Saint-Alyre par M. Girardin. Le fer sous des états divers, existe dans un grand nombre d'eaux minérales. L'origine du fer et du manganèse est toujours la même que celle des autres éléments.

Nous ne pensons pas que les eaux chaudes, et même les eaux chargées d'acide carbonique, aient dissous ces métaux pendant leur trajet, bien que nous leur en reconnaissions le pouvoir; nous croyons qu'ils viennent d'une grande profondeur comme les autres matières contenues dans les eaux.

La soude, la chaux, la magnésie, la potasse, la baryte et la strontiane, la lithine, les oxydes de rubidium et de césium, qui très-rarement à l'état caustique, mais presque toujours combinés, se trouvent si souvent dans les eaux à l'état de carbonates, sulfates, hydrochlorates, etc., doivent provenir aussi de l'action de l'oxygène sur les métaux alcalins que le noyau du globe doit renfermer.

Les mêmes réflexions s'appliquent à l'aluminium et surtout au silicium qui a toujours joué un rôle si important dans la constitution de l'écorce du globe.

Il suffit du contact de l'oxygène de l'air et du silicium pour expliquer la transformation du métal en oxyde et pour avoir un dégagement d'azote. Mais l'eau peut aussi être décomposée dans cette circonstance, et tandis que son oxygène fera de la silice, son hydrogène pourra, comme l'a supposé M. Longchamps, s'unir à du soufre, à du chlore, à du brôme ou à de l'iode et se dégager en hydracides et en hydrosels.

En résumant les détails que nous venons de rapporter, on voit que la majeure partie des substances contenues dans les eaux minérales viennent de l'intérieur de la terre. En effet, en admettant comme chose prouvée la chaleur centrale et l'incandescence primitive du globe, on ne peut leur supposer une autre origine. La terre entièrement formée de matières non oxygénées a dû d'abord s'oxyder à sa surface pour produire toutes les roches cristallisées, et l'oxygène

absorbé a laissé libre une grande quantité d'azote qui existe encore dans l'atmosphère. Nous n'avons aucune raison pour supposer que l'oxygène n'est pas encore absorbé à l'époque actuelle, par une sorte de cémentation, ou par des fissures à travers lesquelles il peut pénétrer; ainsi cette surface de violente action chimique, qui dans le principe, a dû exister tout à fait à l'extérieur du globe, a dû successivement s'abaisser et l'action diminuer à mesure que l'air atmosphérique trouvait un contact moins facile, étant séparé par une croûte oxydée, qui augmentait graduellement d'épaisseur. A l'époque où nous vivons, cette action continue, mais faiblement, et doit s'exercer à une profondeur de quelques myriamètres seulement. Là existe une combinaison lente mais perpétuelle de l'oxygène de l'air avec des corps non oxydés ; là se produit une certaine quantité d'oxydes qui augmentent graduellement l'épaisseur de la croûte terrestre ; là se trouvent tous les éléments des eaux minérales et de la puissance volcanique des tremblements de terre et des soulèvements qui ont ridé la surface du globe.

Un fait important n'aura pas échappé à nos lecteurs, c'est la connexion qui existe entre les eaux minérales et les volcans. La majeure partie des principes contenus dans les eaux sont analogues ou identiques à ceux que rejettent les bouches ignivomes actuelles dans les différentes phases de leurs éruptions. Ces principes que les volcans répandent en abondance à la faveur de la tension des gaz qui les projettent, se retrouvent en petite quantité charriés par l'eau thermale de ces sources profondes, et cette tendance à l'organisation, si remarquable dans les eaux de cette nature, nous en retrouvons pour ainsi dire l'équivalent dans la fertilité dont jouissent les contrées couvertes des débris décomposés des roches volcaniques.

L'étude des phénomènes volcaniques et des eaux minérales en Auvergne, nous donne l'idée d'une suite non interrompue d'actions vulcaniennes depuis l'apparition des plus anciens trachytes et peut-être des porphyres, jusqu'à l'extinction de nos derniers volcans et à l'émersion de nos sources. Les études que M. Pissis a faites au Chili, dans la chaîne des Andes, l'ont conduit à la même opinion. Elles lui ont permis de constater une suite non interrompue de phénomènes commençant en même temps que les grandes dislocations de l'écorce terrestre qui ont produit la chaîne principale des Andes et se continuent jusqu'à l'époque actuelle.

« L'injection des matières fluides qui ont formé les masses trachytiques commence cette série, et la puissante formation de conglomérats qui les recouvre montre qu'avant d'atteindre la surface du sol, elles ont dû éprouver de puissants mouvements d'oscillation, qui ont broyé les roches qui se trouvaient sur leur passage, tandis qu'une partie de ces mêmes roches se dissolvait dans la masse fluide dont elle changeait la composition au point de produire les nombreuses variétés d'aspect et de structure que présentent ces masses. Pendant que ces matières venaient remplir les parties les plus larges des failles produites par le soulèvement, des fluides élastiques s'échappaient avec violence, projetant au loin tout ce qui leur opposait quelque résistance et couvrant le sol des débris qui forment aujourd'hui les conglomérats ponceux. Les communications avec l'intérieur une fois déblayées par ces actions violentes, laissaient une libre issue aux fluides élastiques et à la vapeur d'eau qui s'échappaient de la masse incandescente, emportant avec eux toutes les matières que présentent les solfatares. Enfin le dégagement d'une aussi grande quantité de fluides élastiques

s'échappant sous une pression énorme devait produire, dans les parties où il avait lieu, un refroidissement plus rapide que dans le reste de la masse fluide ; il arrivait un moment où la température n'était plus suffisante pour porter l'eau à l'état de vapeur, et ces évents se changeaient en sources thermales, dont les dépôts successifs finissaient par obstruer entièrement les issues, laissant ainsi un filon métallifère comme dernier résultat de l'action de toutes ces forces. »

« Pendant que l'action volcanique paraissait ainsi s'éteindre sur quelques points, les fluides élastiques comprimés s'ouvraient brusquement un passage sur les parties moins résistantes et donnaient lieu à une nouvelle série de phénomènes entièrement semblable à la précédente. »

« Dans les parties les plus fracturées, là où les failles du système des Andes avaient rencontré des dislocations plus anciennes, la pression des fluides élastiques, peut-être même celle des masses solides qui n'avaient pas encore trouvé leur position d'équilibre, pesaient sur la masse fluide et la faisaient refluer jusqu'à la surface du sol, produisant les coulées de lave et les cônes de scories. Pendant toute cette longue période, l'action volcanique n'a cessé de se manifester sous les mêmes formes, produisant par intervalle des coulées de matières fluides, des cônes de scories ou des solfatares ; mais l'intensité de cette action paraît avoir diminué graduellement, depuis le soulèvement de la chaîne principale des Andes jusqu'aux temps actuels, soit que les principales issues aient été obstruées par les injections de laves ou des dépôts des eaux thermales, soit que les parties disloquées de l'écorce terrestre, s'étant peu à peu équilibrées comme les pierres d'une voûte, ne pèsent plus aujourd'hui sur la masse fluide aussi fortement qu'à cette époque. »

« Un autre fait qui ressort de l'étude comparée de ces phénomènes, est le rôle de plus en plus important de la vapeur d'eau à mesure que l'on approche de l'époque actuelle, et il est tout naturel de se demander quelle est l'origine de cette grande masse d'eau qui s'échappe des volcans et des solfatares. Ce corps fait-il partie de la masse fluide où il serait maintenu à l'état liquide par l'énorme pression qui doit avoir lieu à ces profondeurs? Pénètre-t-il, au contraire, par voie d'infiltration de la surface jusqu'à la masse incandescente? Sans vouloir rien préjuger à cet égard, on nous permettra d'indiquer encore quelques faits qui semblent se rattacher à l'influence des eaux d'infiltration sur les phénomènes volcaniques. On croit généralement, dans toute la partie de l'Amérique du Sud sujette aux tremblements de terre, que ces mouvements sont plus fréquents durant la saison des pluies jusqu'à l'époque des sécheresses; depuis une douzaine d'années que nous habitons le Chili, cette assertion ne s'est point démentie; nous avons pu non-seulement en constater l'exactitude, mais encore nous assurer que les années où les pluies étaient plus abondantes, les tremblements de terre étaient aussi plus fréquents. Si l'on considère qu'à cette époque la région des Andes se trouve couverte d'une épaisse couche de neige qui se fond sans cesse sur la surface en contact avec le sol, on est conduit à admettre que les infiltrations doivent être plus abondantes, et s'il existe encore des failles communiquant avec l'intérieur, de grandes masses d'eau peuvent arriver jusqu'aux matières incandescentes et produire par leur expansion les secousses qui donnent lieu aux tremblements de terre. » (*Institut*, n° 1466, 5 février 1862.)

Nous avons voulu citer, dans toute leur étendue, ces cu-

rieuses observations, d'abord parce qu'elles nous rappellent un savant ami éloigné depuis longtemps, et ensuite parce qu'elles nous retracent des phénomènes qui eurent lieu souvent sur le sol de l'Auvergne parfaitement connu de M. Pissis. Ce n'est pas la seule analogie qui existe entre la grande chaîne des Andes où la vie de la terre se manifeste encore, et notre modeste chaîne des puys où elle s'éteint.

CHAPITRE XXXII.

Résumé des idées émises dans les chapitres précédents.

Quand les eaux arrivent à la surface du sol, elles sont limpides et transparentes, et presque toutes laissent échapper une certaine quantité d'acide carbonique, qui tenait en dissolution parfaite quelques principes solubles qui sortent avec elles.

Bientôt après, un dépôt plus ou moins abondant se forme sur leur passage, et l'on reconnaît principalement dans ces dépôts du sous-carbonate de chaux, de l'oxyde de fer, du carbonate de magnésie et de la matière organique qui se trouve entraînée par les matières insolubles qui se précipitent.

Lorsque nous comparons ces créations nouvelles, que les eaux minérales forment sous nos yeux, avec les différents terrains de sédiment, nous sommes frappés de l'analogie que nous présentent les couches d'âges différents. Tout en remarquant que les grandes assises sédimentaires contiennent une forte quantité de débris organiques et qu'elles ont été évidemment déposées sous les eaux, nous ne pouvons contester cependant qu'une action chimique puissante n'ait agi pendant ce dépôt, et cette action ne peut être autre que celle des sources minérales. Des eaux excessivement abondantes et saturées de différents principes, affluaient continuellement de l'intérieur à la surface de la terre ; d'immenses dépôts s'opéraient à l'aide d'une température élevée, et

la vie organique, excitée à la fois par la température et par l'humidité, se développait sous des formes variées qui nous sont maintenant inconnues.

Le phénomène des eaux minérales semble avoir joué un rôle extrêmement important dans la structure de la terre; et, loin de croire que les eaux puisent dans les terrains qu'elles traversent les matériaux qu'elles déposent, il faut, au contraire, admettre que tous ces terrains ont été déposés par elles, et qu'elles en ont puisé les matériaux au-dessous des roches cristallisées qui forment maintenant la croûte solide de la terre.

Dans cette circonstance, comme dans plusieurs autres, nous n'aurions plus, à l'époque actuelle, qu'une faible manifestation d'une action qui fut autrefois assez puissante pour participer à la création de tous les terrains de sédiment.

Nous voyons, en effet, les sources minérales diminuer tous les jours; nous trouvons, sur plusieurs points de la terre, des masses de travertin dont l'origine est évidente pour nous, et dont la source est tarie, ou bien, si elle coule encore, elle ne dépose plus rien, ou n'abandonne à la longue qu'une couche mince et limitée de carbonate de chaux. A peine si quelques cristaux d'arragonite se forment sous nos yeux, tandis que des couches épaisses gisent au milieu des calcaires déposés par les eaux. La silice n'existe plus que dans les Geisers, car les autres sources en renferment de si petites quantités, qu'il est impossible qu'elles puissent former des concrétions, tandis que d'anciens travertins en sont pénétrés au point de ne plus faire effervescence avec les acides; ou bien cette matière (la silice) s'est rassemblée en masses globuleuses, et reste empâtée sous forme de

quartz résinite au milieu des calcaires imprégnés de natron ou carbonate de soude ; la source des Célestins, à Vichy, sort d'un énorme rocher calcaire qu'elle a formé, et toute la ville est construite sur le dépôt des eaux, tandis que les fontaines actuelles ne fournissent qu'une faible proportion de cette substance.

Du reste, tout nous porte à croire que les eaux minérales ont changé plusieurs fois de nature, et qu'elles ont versé autrefois en abondance des matières qu'elles ne contiennent plus aujourd'hui ; et ce ne sont pas là des hypothèses gratuites, ce sont des théories positives établies seulement pour l'explication des faits. Il suffit, pour s'en convaincre, de jeter les yeux sur le travail remarquable que M. Girardin a publié sur les sources et les travertins de Saint-Alyre.

Beaucoup de sources thermales ont, comme Saint-Alyre, éprouvé des changements notables dans la constitution chimique de leurs eaux, et subi une diminution dans la proportion de leurs principes minéraux. Ainsi, les eaux de Saint-Nectaire, de Vichy, du Mont-Dore, n'ont plus la même richesse en substances minérales qu'autrefois, et leur composition n'est plus la même qu'à l'époque où elles formaient ces immenses dépôts siliceux et arragonitifères qu'on trouve aux environs des lieux d'où elles sourdent.

Les eaux du Mont-Dore déposaient jadis des masses assez considérables de silice ; c'est à peine si elles en abandonnent aujourd'hui. Les eaux de Saint-Nectaire ont formé de l'arragonite, puis de la silice, puis des amas d'ocre très-friable, puis du travertin qu'elles déposent encore.

Ce n'est pas un des phénomènes les moins curieux que cet appauvrissement successif en principes salins, et surtout en silice, de la plupart des eaux minérales. Sa constance

indique assez qu'il est lié à quelque grande cause, dont l'action a été progressivement modifiée et affaiblie ; cause qui n'est autre, sans doute, que la chaleur ; car il est bien constant, au moins pour la majeure partie des sources de l'Auvergne, que leur température a sensiblement diminué. On conçoit parfaitement que le volume et la chaleur de ces fontaines s'affaiblissant graduellement, leur richesse en substances minérales, surtout en substances peu solubles, a dû suivre la même progression descendante.

Il suffit d'admettre le refroidissement graduel du globe, pour se rendre raison de ces singulières différences. Car si nous supposons que la surface d'action où se produisent les eaux minérales, est précisément le point où s'opère la combinaison des matières non oxygénées de l'intérieur du globe, avec l'oxygène ou l'air atmosphérique qui peut y pénétrer, nous verrons de suite que cette surface, d'abord tout à fait extérieure, s'est rapidement enfoncée, et qu'elle doit s'enfoncer encore, quoique très-lentement. Nous concevrons, par la même raison, que plus elle était rapprochée de l'extérieur de la terre, plus les communications étaient faciles, et pour l'introduction de l'air, et pour l'émission de l'eau chargée de différentes matières. Dès-lors, les sources devaient être plus abondantes, plus nombreuses et plus chargées qu'elles ne le sont aujourd'hui. Mais à mesure que la surface d'action s'est éloignée, les communications plus difficiles, des réactions moins intenses ont nécessairement affaibli ces phénomènes, dont la puissance diminue tous les jours. La température des sources a dû s'abaisser graduellement, à mesure que les conduits qu'elles avaient à traverser se sont allongés ; car ceux-ci commencent au point d'action intérieure, et s'ouvrent à la surface, en sorte

qu'ils doivent augmenter de longueur, à mesure que leur point d'origine s'éloigne du point de sortie; dès-lors la température doit diminuer, comme l'a très-bien observé M. Boussingault, en comparant trois sources assez rapprochées, et dont le point de départ doit être sensiblement le même; tandis que l'ouverture arrive à des niveaux différents, et donne précisément une température en rapport avec cette différence.

On conçoit parfaitement aussi que ces eaux aient changé de nature, car les différentes matières qui forment le noyau du globe, ont dû se disposer par couches, selon leur pesanteur spécifique, et le silicium et quelques autres éléments, légers comparativement aux autres, ont dû gagner la surface, et la terre doit être ainsi formée de couches superposées, qui, toutes, jusqu'à une certaine profondeur, ont été successivement traversées par cette ligne d'action, jusqu'à ce qu'elle ait atteint le niveau où elle est actuellement. Alors chaque zone, en s'oxydant, a donné naissance à des corps particuliers, que les eaux ont amenés au jour à des époques différentes. Et si les zones intérieures qui composent le noyau du globe, s'étaient placées par couches d'égale épaisseur, on pourrait, jusqu'à un certain point, reconnaître le plus ou moins de profondeur de la surface d'action, par la nature du dépôt des sources. Il est très-probable cependant que jamais on ne pourra acquérir ces connaissances, car les nombreuses fractures qui existent dans l'écorce du globe peuvent avoir eu une influence marquée sur l'accès de l'air dans l'intérieur, et, par conséquent, sur l'épaisseur de la couche solidifiée.

Nous pouvons donc comprendre à présent toute l'importance de ce phénomène géologique, et l'émission si abon-

dante des sources thermales dans les premiers temps de la création.

C'est à elles qu'il faut rapporter ces couches immenses de calcaires qui se déposèrent dans les premières dépressions des terrains cristallisés, qui se mêlèrent comme ciment à plusieurs roches mécaniquement formées. C'est à la même cause qu'il faut attribuer ces puissants dépôts de craie, avec la multitude de rognons siliceux qui s'y sont déposés, et plus tard la répétition de ce même phénomène, lors du sédiment des marnes et de leurs ménilites. Enfin, en se rapprochant encore de l'époque actuelle, on ne peut leur contester ces nombreuses concrétions qui, dans le centre de la France, se sont moulées autour des masses de phryganes, ni ces nombreux travertins que nous voyons naître sous nos yeux. Les divers amas de fer hydroxydé ont été produits par les sources, dont plusieurs déposent encore aujourd'hui une grande quantité d'ocre jaune. Le bitume, une partie des quartz, des calcédoines, et une foule de minéraux, n'ont d'autre origine que celle qui nous occupe maintenant. C'est encore aux eaux minérales qu'il faut rapporter en partie les dépôts de sel gemme, la salure des mers, la formation du gypse, et peut-être cette quantité d'acide carbonique qui, selon toute apparence, a longtemps vicié notre atmosphère, et que la végétation a transformé en couches de houille. Il y a sans doute aussi des filons qui doivent naissance aux eaux, et qui ne sont autre chose que des fentes remplies qui les mettent en communication avec l'extérieur du sol.

Si nous connaissions bien la pesanteur spécifique des métaux des terres, si nous possédions leurs caractères comme nous connaissons ceux de la plupart des autres métaux, il est bien probable que nous arriverions à des conséquences

géologiques fort importantes, en comparant ces caractères aux dépôts que les eaux ont abandonnés à des époques différentes.

Les eaux minérales ont eu aussi autrefois la plus grande influence sur la vie organique. Leur température a certainement favorisé le développement de nombreux corps vivants, que nous ne connaissons que par leurs dépouilles; l'acide carbonique qu'elles ont versé dans l'atmosphère, a dû contribuer à cette belle et vigoureuse végétation des grands végétaux monocotylédonés, en même temps qu'il s'est opposé à l'apparition trop prompte d'animaux à poumons parfaits, qui, selon toute apparence, n'ont été créés qu'après l'épuration de l'air qu'ils devaient respirer.

Que l'on compare ces grands résultats aux faibles effets des eaux thermales actuelles, on restera convaincu de leur analogie, et en même temps de l'impuissance des causes actuelles, si nous refusons de reconnaître qu'elles se sont affaiblies et presqu'anéanties.

D'après cette manière d'envisager les sources minérales, elles doivent finir par s'éteindre; leur température et leur volume doivent graduellement s'affaiblir. Aucune donnée positive, aucune expérience irrécusable n'autorise pourtant cette prévision. Il nous manque des observations précises sur nos sources thermales, ou du moins, celles qui ont été faites avec les soins convenables sont tellement isolées et si rapprochées de notre époque, que nous ne pouvons en tirer aucune conséquence. Notre existence est si courte et les changements sont si lents, que c'est en observant avec précision toutes les sources d'une contrée, que l'on peut jusqu'à présent se rendre compte des modifications que chacune d'elles peut éprouver.

Ce que nous venons de dire des eaux minérales, nous prouve qu'il y a encore dans la nature des forces agissantes dont tous les effets doivent être soigneusement étudiés. Celui qui l'étudie doit s'occuper des plus faibles actions ; car, pour l'histoire du globe, c'est l'analogie qui doit principalement nous servir de guide. On est revenu maintenant de ces grands cataclysmes auxquels on supposait que la terre avait été soumise; on ne cherche plus ces chocs de comètes, ni toutes ces causes présumées de vastes inondations et de changements de climats. On pense que notre planète contient en elle-même le principe et la cause des nombreux changements qui se sont opérés. En reculant dans l'ordre chronologique des réactions qui s'y manifestent encore de nos jours, en augmentant leur intensité, on trouve naturellement l'explication de tous les phénomènes géologiques ; on arrive à cette conséquence que notre globe est parvenu à un état de stabilité remarquable dont il n'a pas toujours joui; que les mêmes forces qui se montrent maintenant, ont agi autrefois avec bien plus d'intensité, et qu'il suffit de les augmenter graduellement par la pensée, pour se rendre raison de tous les faits que nous présente l'étude de la terre.

FIN.

TABLE PAR ORDRE DE MATIÈRES.

FIN DE LA TABLE.

Clermont, typ. Ferd. Thibaud.



